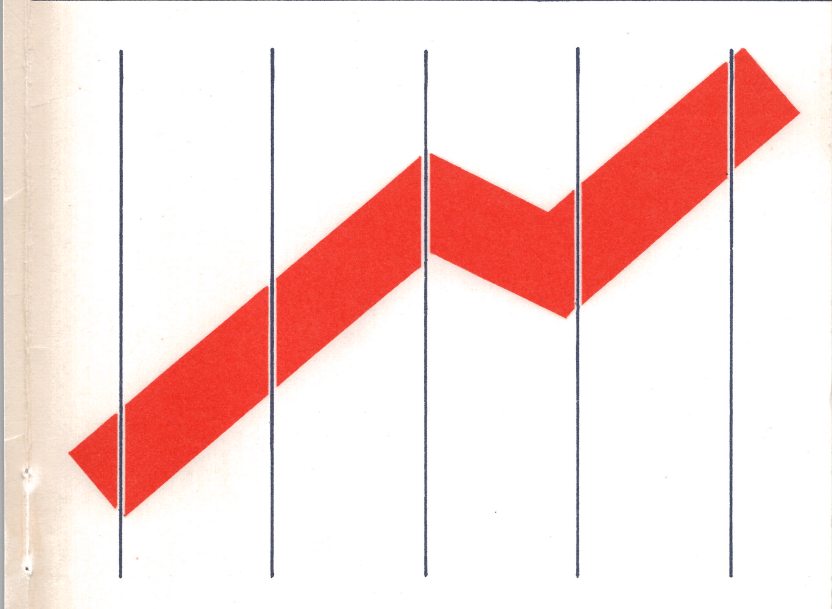
ISBN 3-922 798-05

FAKTENPAPIER

zur Kernenergie



Heussallee 10 · D–5300 Bonn 1
Telefon (02 28) 5 07–0
Telefax (02 28) 5 07–2 19
Telex 8 869 444 datf d

DEUTSCHES ATOMFORUM E.V.

Inhalt

Strahlenschutz und Reaktorsicherheit

1. Energie- und Leistungseinheiten

Die Meßeinheit ist das Joule (J). Die früher gebräuchliche Einheit Kilokalorie (kcal) wurde bei der Einführung des internationalen Einheitensystems ab 1. 1. 1978 durch die Einheit Joule ersetzt.

Orientiert am Energieinhalt der Kohle ist in der Energieversorgung auch die Steinkohleneinheit (SKE) gebräuchlich: 1 Tonne SKE entspricht 1 Tonne Steinkohle mit einem Heizwert von 29,3 Milliarden Joule = 29,3 GJ = 7 Millionen kcal.

Arbeit, Energie	J	kWh	kcal	t SKE
1 J (Joule)	1	$2{,}778 \cdot 10^{-7}$	$2{,}388 \cdot 10^{-4}$	$34{,}12 \cdot 10^{-12}$
1 kWh (Kilowattstunde)	$3{,}6 \cdot 10^{6}$	1	859,845	$12{,}28 \cdot 10^{-5}$
1 kcal (Kilokalorie)	4186,8	$1{,}163 \cdot 10^{-3}$	1	$14{,}29 \cdot 10^{-8}$
1 t SKE (Steinkohlen-einheit)	$29{,}308 \cdot 10^{9}$	$8{,}141 \cdot 10^{3}$	$7 \cdot 10^{6}$	1
Leistung	**kW**	**PS**	**kcal/s**	
1 kW (Kilowatt)	1	1,35962	0,238846	
1 PS (Pferdestärke)	0,735499	1	0,1757	
1 kcal/s (Kilokalorie je Sekunde)	4,1868	5,692	1	

Zur Kennzeichnung von dezimalen Teilen oder Vielfachen einer Einheit sind bestimmte Präfixe (Vorsilben) verbindlich eingeführt worden. So wird das Tausendfache (10^3fache) einer Einheit mit der Vorsilbe „Kilo" (z. B. Kilometer), das Tausendstel (10^{-3}fache) einer Einheit mit der Vorsilbe „Milli" (z. B. Millimeter) bezeichnet.

Präfixe für dezimale Vielfache und Teile von Einheiten

Präfix	Kurz-bezeichnung	Faktor
Exa	E	10^{18}
Peta	P	10^{15}
Tera	T	10^{12}
Giga	G	10^{9}
Mega	M	10^{6}
Kilo	k	10^{3}
Hekto	h	10^{2}
Deka	da	10^{1}
Dezi	d	10^{-1}
Zenti	c	10^{-2}
Milli	m	10^{-3}
Mikro	µ	10^{-6}
Nano	n	10^{-9}
Pico	p	10^{-12}
Femto	f	10^{-15}
Atto	a	10^{-18}

2. Energiearten

Primärenergie

Energierohstoffe in ihrer natürlichen Form vor jeglicher technischen Umwandlung. Das sind beispielsweise Steinkohle, Braunkohle, Erdöl, Erdgas, Uran und Wasser.

Sekundärenergie

Durch Umwandlung aus Primärenergie entstandene „veredelte" Energie. Elektrischer Strom ist so eine Sekundärenergie, aber auch Benzin und Heizöl aus Erdöl.

Endenergie

Vom Verbraucher bezogene Energie. Meist ist es Sekundärenergie wie Strom und Heizöl, manchmal auch Primärenergie wie Erdgas, das ohne Umwandlung direkt zum Heizen eingesetzt werden kann.

Nutzenergie

Der Teil der Endenergie, der beim Verbaucher nach der letzten Umwandlung tatsächlich für den jeweiligen Nutzungszweck zur Verfügung steht. Bei dieser letzten Umwandlung wird Strom zum Beispiel zu Licht, mechanischer Energie oder Heizwärme.

3. Einheiten der Aktivität und der Dosis

Aktivität

Aktivität ist die Zahl der je Sekunde in einer radioaktiven Substanz zerfallenden Atomkerne. Die Maßeinheit für die Aktivität ist das Becquerel (Bq). 1 Becquerel entspricht dem Zerfall **eines** Atomkerns pro Sekunde.

Dosis

Die Strahlendosis ist ein Maß für eine näher anzugebende Strahlenwirkung. Die Energiedosis gibt die gesamte absorbierte Strahlungsenergie an die bestrahlte Materie an, sie wird in der Einheit Gray (Gy) angegeben. Bedeutsam für Strahlenschutzzwecke ist die Äquivalentdosis, die die unterschiedlichen biologischen Wirkungsmöglichkeiten verschiedener Strahlenarten berücksichtigt. Die Einheit der Äquivalentdosis ist das Sievert (Sv).

Bis Ende 1985 waren für die Aktivität und die Dosis die Einheiten Curie (Ci) bzw. Rem (rem) und Rad (rd) zugelassen.

1 Curie entspricht 37 000 000 000 Bq.

1 Sievert entspricht 100 rem.

1 Gray entspricht 100 rd.

Dosisleistung

Die Dosisleistung ist die pro Zeit absorbierte Dosis; z. B. wird die Äquivalentdosisleistung im Strahlenschutz in Millirem je Stunde (mrem/h) bzw. in der neuen Einheit „Sievert“ in Mikrosievert je Stunde (µSv/h) angegeben.

4. Welt-Energiebedarf und Bevölkerungswachstum

Prognosen über den zukünftigen Energiebedarf der Welt können keine hundertprozentigen Voraussagen sein; sie zeigen aber Trends auf und stellen deshalb eine Entscheidungshilfe dar.

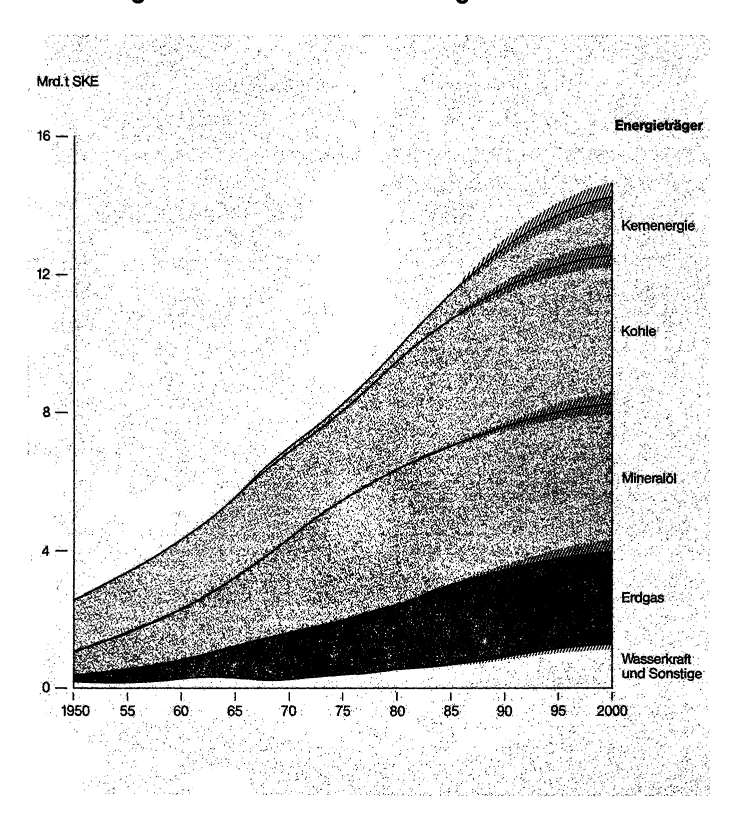
Übereinstimmend kommen die Voraussagen verschiedener Organisationen und Firmengruppen (Weltenergiekonferenz, UN-Weltenergie-Statistik etc.) zu dem Ergebnis, daß der Welt-Energiebedarf auch in Zukunft erheblich steigen wird. Bei einem durchschnittlichen Verbrauchsanstieg von etwas mehr als zwei Prozent pro Jahr wird der Weltenergie-Verbrauch von fast elf Milliarden Tonnen SKE (Mrd. t SKE) im Jahr 1985 auf etwa 15 Mrd. t SKE im Jahr 2000 ansteigen.

Die Gründe für diese Bedarfsentwicklung liegen im Anstieg der Weltbevölkerung von derzeit mehr als 4,5 Milliarden auf etwa 6,4 Milliarden im Jahr 2000 und in der wirtschaftlichen Weiterentwicklung in den Ländern der Dritten Welt.

Die Weltbevölkerung wird sich nach einer Statistik der Vereinten Nationen wie folgt entwickeln:

	1979	2000	2025	2050
	in Milliarden Einwohnern			
Weltbevölkerung	4,4	6,4	9,1	11,1
Bevölkerung in den Entwicklungsländern	3,3	5,0	7,5	9,5

Weltenergiebedarf und seine Deckung



Quelle: Gesamtverband des deutschen Steinkohlenbergbaus

5. Weltweite Energiereserven

Die gesicherten und wirtschaftlich gewinnbaren Energiereserven an Kohle, Erdöl und Erdgas betragen:

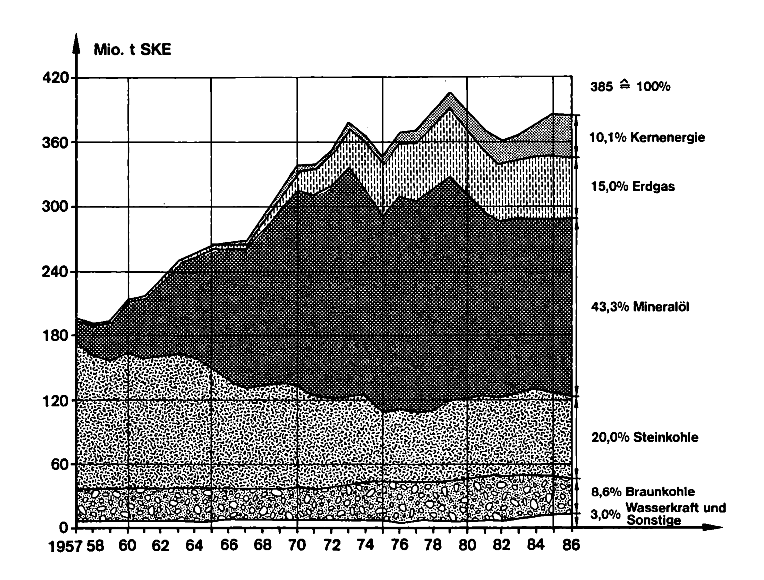
feste Brennstoffe	771 Mrd. t SKE
Erdöl	167 Mrd. t SKE
Erdgas	117 Mrd. t SKE
	1055 Mrd. t SKE

Die gesicherten Uranreserven belaufen sich auf 2,2 Millionen Tonnen Uran, die in Leichtwasserreaktoren eingesetzt 32 bis 48 Milliarden Tonnen SKE entsprechen, je nachdem ob diese Reaktoren ohne oder mit Wiederaufarbeitung betrieben werden. Mit Schnellen Brütern ergibt sich ein Vielfaches dieser Energie.

Über die genannten Reserven hinaus werden noch weitere fossile Energievorräte von größenordnungsmäßig 8000 Milliarden Tonnen SKE vermutet, deren Gewinnung aufwendiger und teuerer ist.

Quellen: Steinkohlenbergbau, NEA.

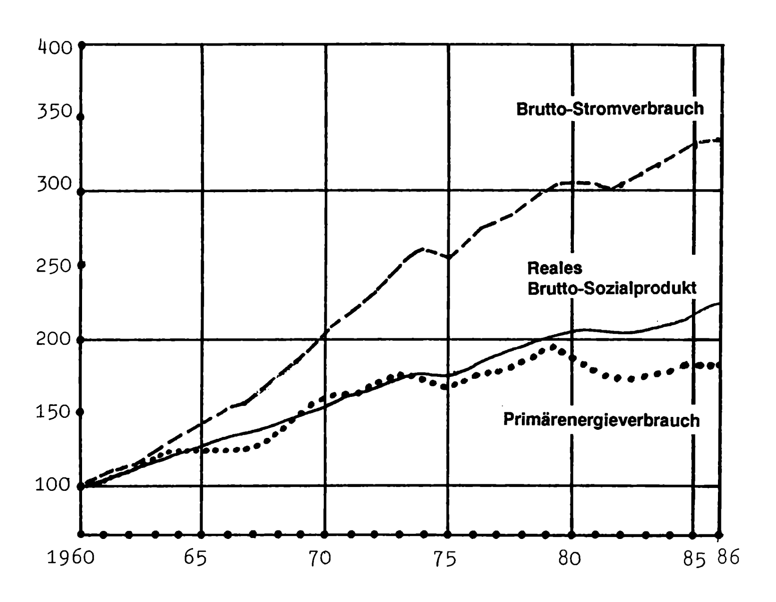
6. Primärenergieverbrauch in der Bundesrepublik Deutschland



Quelle: BBC (VIK/AG Energiebilanzen)

7. Wirtschaftsentwicklung und Energieverbrauch

Der Primärenergieverbrauch in der Bundesrepublik, der in den letzten Jahren expandierte, hat sich inzwischen etwas abgeflacht. Demgegenüber ist der Bruttostromverbrauch geringfügig gestiegen. Das gleiche gilt in etwas stärkerem Maße auch für das Bruttosozialprodukt.



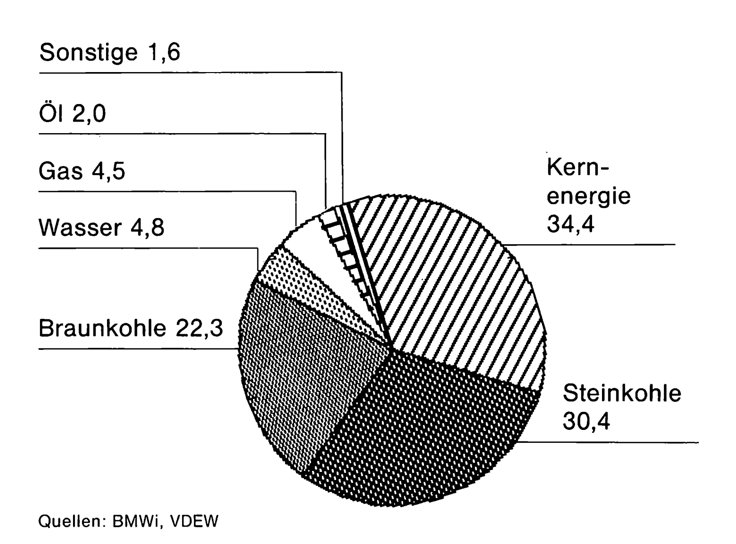
Index 1960 = 100

Quelle: BMWi, VDEW

8. Stromerzeugung in der Bundesrepublik Deutschland

Der überwiegende Teil des Stroms wird in Kraftwerken der öffentlichen Versorgung erzeugt. Im Jahr 1986 waren es 346 Terawattstunden (TWh). Das sind 84 % der gesamten Brutto-Erzeugung. Der restliche Strom kommt aus Kraftwerken der Industrie (14 %) und der Deutschen Bundesbahn (2 %).

Die einzelnen Energieträger haben an der Brutto-Stromerzeugung der öffentlichen Versorgung folgende Anteile:



Quellen: BMWi, VDEW

9. Verbrauch an Endenergie in der Bundesrepublik Deutschland

Vom Endenergieverbrauch entfallen ca.

44 Prozent auf den Bereich Haushalte (27 %) und

Kleinverbraucher (17 %),

32 Prozent auf die Industrie,

24 Prozent auf den Verkehr.

Charakteristisch für die Verbrauchsstruktur ist der große Bedarf an Niedertemperaturwärme. Vom Endenergieverbrauch entfallen je rund ein Drittel auf Raumwärme, Prozeßwärme und Antriebsenergie für Maschinen und Fahrzeuge. Für die Lichterzeugung wird nur ein Prozent verbraucht.

10. Stand und Zuwachs der Kraftwerksleistung in der Bundesrepublik Deutschland

Anfang 1987 standen für die öffentliche Stromversorgung folgende Leistungen zur Verfügung:

Wasser	6 160 MW
Kernenergie	19 707 MW
Braunkohle	12 775 MW
Steinkohle	25 460 MW
Heizöl	10 547 MW
Erdgas	10 255 MW
Sonstige	704 MW
	85 608 MW

Weitere Kraftwerke sind im Bau, und zwar

4	Kernkraftwerke	mit 4 325 MW
11	Steinkohle-Kraftwerke	mit 2 354 MW
11	Wasserkraftwerke	mit 209 MW
4	Sonstige konventionelle Kraftwerke	mit 76 MW

Mit dem Neubau dieser Kraftwerke wird einerseits der steigende Bedarf an Kraftwerksleistung gedeckt und andererseits Ersatz geschaffen für stillzulegende ältere Anlagen.

11. Brennstoffvergleich / Energieinhalte

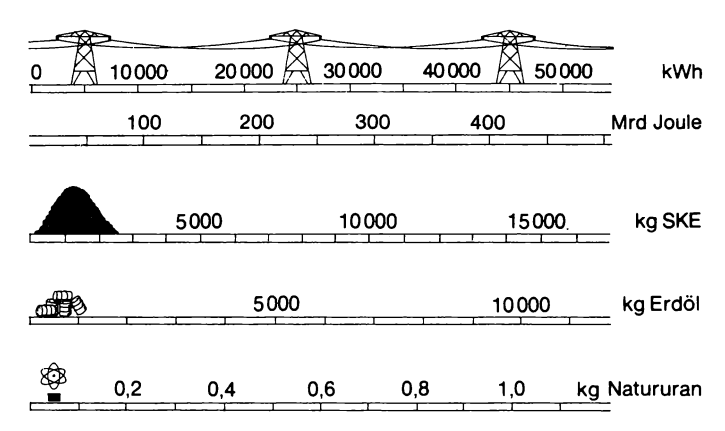
Bei vollständiger Verbrennung bzw. Spaltung lassen sich aus

1 kg Steinkohle	ca. 8 kWh
1 kg Erdöl	ca. 12 kWh
1 kg Uran-235	ca. 23 000 000 kWh

Wärme gewinnen. Das heißt, daß im Uran das zwei- bis dreimillionenfache Energieäquivalent von Öl bzw. Kohle enthalten ist.

Das Energieäquivalent von 1 kg Uran-235 entspricht
- 93 Waggons mit je 30 t Kohle,
- 67 Kesselwagen mit je 30 t Heizöl.

Die nachstehende Grafik soll eine Umrechnung zwischen den zur Stromerzeugung erforderlichen Kohle-, Öl- und Uranmengen erleichtern.



Quelle: BMFT, Kernenergie, eine Bürgerinformation, 4. Aufl. 1980

Durch Vergleiche der übereinander angeordneten Skalen ist ablesbar, wieviel Steinkohle, Öl oder Natururan für eine bestimmte Strommenge erforderlich ist. So entspricht 1 kg Natururan – eingesetzt für die Stromerzeugung in Leichtwasserreaktoren – knapp 10 000 kg Erdöl oder 14 000 kg Steinkohle und ermöglicht die Erzeugung von 45 000 kWh Strom.

12. Stromkostenvergleich Kohle/Kernenergie

Einen langfristigen Kostenvergleich hat das Bundeswirtschaftsministerium erstmals 1977 in einer Studie vom Energiewirtschaftlichen Institut der Universität Köln durchführen lassen. Ergebnis der Untersuchung war ein eindeutiger

Kostenvorteil des Kernenergiestroms – vor allem im Grundlastbereich – gegenüber Kohlestrom. Dieser Vorsprung wurde mit etwa 4 Pfennig pro Kilowattstunde angegeben. Die Studie wurde 1981 aktualisiert. Dabei bestätigte sich die schon 1977 getroffene Aussage.

Ein vom Wirtschaftsministerium Nordrhein-Westfalen beim Battelle-Institut in Auftrag gegebenes Gutachten (1979) stützt ebenfalls die Grundaussage eines Kostenvorsprungs der Kernenergie, wobei von zusätzlichen, für die Kernenergie ungünstigen Annahmen ausgegangen wurde. Auch dieses Gutachten wurde 1983 aktualisiert – und kam dabei sogar zu einem für die Kernenergie noch günstigeren Ergebnis.

Eine weitere Studie zu diesem Thema stammt von Prof. Dr. Ulf Hansen, Universität Essen. Der Wissenschaftler vergleicht in der 1983 veröffentlichten Studie die Stromerzeugungskosten von Steinkohle-, Braunkohle- und Kernkraftwerken, die zwischen 1976 und 1989 in Betrieb gehen. Er kommt zu dem Resultat, daß auch 1989 der Strom aus Uran noch erheblich billiger erzeugt werden kann als aus Steinkohle, obwohl der Preisabstand in den letzten Jahren etwas geringer geworden sei. Seine Berechnungen ergeben folgendes Bild:

Stromerzeugungskosten in Pf/kWh abhängig von der jährlichen Benutzungsdauer der Kraftwerke

bei Inbetriebnahme 1983:	3000 h/a	5000 h/a	7000 h/a
Kernenergie	17,8	11,5	8,8
Steinkohle	20,0	15,4	13,4
Braunkohle	15,4	10,7	8,7
bei Inbetriebnahme 1989:			
Kernenergie	25,5	16,8	13,0
Steinkohle	27,3	21,4	18,9
Braunkohle	20,5	14,7	12,2

13. Der Energiebericht der Bundesregierung

Am 24. September 1986 verabschiedete das Bundeskabinett den Energiebericht der Bundesregierung. In diesem Bericht wird die Energiepolitik der Bundesregierung dargestellt und Bilanz aus der bisherigen Politik in diesem Bereich gezogen. Es wird festgestellt, daß die energiepolitischen Ziele der Bundesregierung weitgehend verwirklicht sind:

- Die Abhängigkeiten in der Energieversorgung wurden erheblich verringert.
- Die rationelle Erzeugung und Nutzung von Energie schlägt sich gewichtig und nachweisbar nieder.
- Die Bundesrepublik Deutschland wurde immer ausreichend mit Energie zu international wettbewerbsfähigen Bedingungen versorgt.
- Die Umweltbelastung, insbesondere der Luft durch Kraftwerke, wurde erheblich zurückgeführt.

Ausführlich wird auch die Position zur friedlichen Nutzung der Kernenergie beschrieben. Der Reaktorunfall von Tschernobyl habe die Haltung der Bundesregierung bestätigt, daß Kernenergie zur Stromerzeugung nur eingesetzt werden dürfe, wenn die notwendige Vorsorge gegen Schäden durch Errichtung und Betrieb der Kernkraftwerke gewährleistet ist. Sicherheit habe Vorrang vor wirtschaftlichen Überlegungen. Zur Rolle der Kernenergie in der Energiepolitik heißt es: „Die Kernenergie ist heute in der Bundesrepublik Deutschland mit über 30 Prozent an der Gesamtstromerzeugung beteiligt. Dieser Beitrag der Kernenergie hat es neben dem vermehrten Kohleeinsatz ermöglicht, den Öl- und Gaseinsatz in der Stromerzeugung auf sehr geringe Mengen zu reduzieren. Der Beitrag der Kernenergie hat die Diversifizierung der gesamten deutschen Energieversorgung und damit die Versorgungssicherheit erhöht."

In dem Energiebericht wird auch darauf hingewiesen, daß verstärkte Anstrengungen unternommen werden müssen, Energie weiter einzusparen und additive Energiequellen zu erforschen und zu entwickeln.

14. Ausstieg aus der Kernenergie?

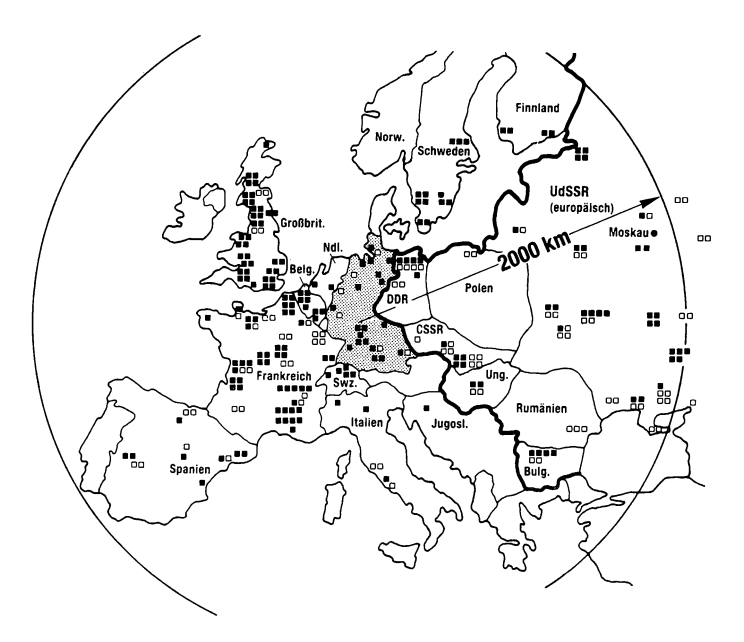
Keines der großen Industrieländer mit Ausnahme Schwedens verfolgt ernstlich den Ausstieg aus der Kernenergie. Im Gegenteil werden in Ost und West entsprechend dem Bedarf weitere Kernkraftwerke geplant und gebaut. Ein Ausstieg wäre nur sinnvoll, wenn anstelle der Kernenergie eine gleich saubere, umweltschonende, preiswerte und sichere andere Energieart in ausreichender Menge zur Verfügung stehen würde. Dies ist nach übereinstimmender Meinung der Fachleute und aller bisher vorliegenden Prognosen auf absehbare Zeit nicht der Fall.

Auch nach den neuesten Untersuchungen müssen in der Bundesrepublik deutlich mehr als 90 % des Energieverbrauchs im Jahr 2000 mit den heute bekannten, nicht erneuerbaren Energiequellen wie Kohle, Öl, Gas und Kernenergie gedeckt werden. Von den erneuerbaren und sonstigen Energiequellen wie Sonne, Wind, Wasserkraft, Biomasse und Müllverbrennung wird bis zur Jahrtausendwende höchstens ein Beitrag von etwa sieben Prozent zur Deckung des Primärenergiebedarfs erwartet. Davon entfällt rund ein Drittel auf die bereits heute weitgehend ausgeschöpfte Wasserkraft.

Ein Verzicht auf die Kernenergie bedeutet:

- kein Ressourcenerhalt für die Nachwelt
- für die Länder der Dritten Welt verteuert sich die Energie
- Langfristige Umwelt- und Klimaauswirkungen bei verstärkter Verbrennung fossiler Energieträger
- Import- und Auslandsabhängigkeit
- Sicherheit, Qualität und Know-how „Made in Germany" gehen verloren
- Erhöhung der Strompreise für Haushalte und Wirtschaft, dadurch Wettbewerbsnachteile für die Wirtschaft
- Verlust von Beschäftigung und Arbeitsplätzen

Ausbausituation der Kernkraftwerke in Europa



191/132.700 MW in Betrieb ■
90/ 86.600 MW im Bau □
64/ 67.300 MW in Planung

345 Anlagen: 35% UdSSR, 13% übriges Osteuropa, 18% Frankreich, 8% Bundesrepublik Deutschland, 26% übriges Westeuropa

Stand: 1986
Quelle: KWU

15. Krisenvorsorge

Die Bundesrepublik Deutschland hat für Krisenfälle vorgesorgt:

- Die Bundesrohölreserve beträgt ca. 7,3 Millionen Tonnen und deckt den gegenwärtigen Verbrauch für etwa 30 Tage. Die Gesamtölreserve – einschließlich Lagerbeständen im Handel und in Privathaushalten – hat eine Reichweite von sieben bis acht Monaten.

- In der Bundesrepublik existieren zur Zeit 17 Untertagespeicher, in denen rund 2 Milliarden Kubikmeter Gas eingelagert werden können. Dies entspricht dem gegenwärtigen Bedarf für etwa einen halben Monat.

- Die Bundesuranreserve beträgt 438 Tonnen angereichertes und 141 Tonnen Natururan. Dieser Vorrat ist ausreichend, den Nachladebedarf der vorhandenen Kraftwerksleistung für mindestens eineinhalb Jahre zu decken. Darüber hinaus verfügen die Elektrizitätsversorgungsunternehmen über erhebliche Uranvorräte, die den Betrieb der laufenden Reaktoren über mehrere Jahre ermöglichen.

- Die nationale Kohlereserve beträgt 10 Millionen Tonnen. Dies entspricht dem Bedarf an Steinkohle im Bundesgebiet für rund eineinhalb Monate.

16. Die Kernkraftwerke der Welt (Ende 1986)

Land	in Betrieb Anzahl	in Betrieb Bruttoleistung MW	im Bau[1] Anzahl	bestellt[1] Anzahl	insgesamt Anzahl	insgesamt Bruttoleistung MW
Argentinien	2	1 015	1	–	3	1 760
Belgien	8	5 741	–	–	8	5 741
Brasilien	1	657	2	2	5	5 875
Bulgarien	4	1 760	2	2	8	5 760
BR Deutschland	21	19 851	4	3	28	28 108
China	–	–	1	2	3	2 289
DDR	5	1 830	2	2	9	3 590
Finnland	4	2 296	–	–	4	2 296
Frankreich	49	47 155	15	2	66	70 183
Großbritannien	22	12 593	4	1	27	16 518
Indien	6	1 320	4	6	16	3 670
Iran	–	–	2	–	2	2 586
Italien	3	1 334	3	2	8	5 352
Japan	34	25 846	11	1	46	36 940
Jugoslawien	1	664	–	–	1	664
Kanada	18	11 516	5	1	24	16 752
Korea (Süd)	6	4 893	3	2	11	9 643
Kuba	–	–	2	–	2	880
Mexiko	–	–	2	–	2	1 350
Niederlande	2	523	–	–	2	523
Österreich	–	–	1	–	1	723
Pakistan	1	137	–	–	1	137
Philippinen	–	–	1	1	2	1 331
Polen	–	–	2	2	4	2 930
Rumänien	–	–	3	1	4	2 455
Schweden	12	9 836	–	–	12	9 836
Schweiz	5	3 034	–	2	7	5 208
Sowjetunion	50	29 313	37	37	124	106 483
Spanien	8	5 815	4	1	13	10 766
Südafrika	2	1 930	–	–	2	1 930
Taiwan	6	5 144	–	–	6	5 144
Tschechoslowakai	6	2 594	10	–	16	9 090
Ungarn	3	1 320	1	4	8	5 760
USA	98	87 590	27	4	129	124 344
Summe	377	285 707	149	78	604	506 617

[1]) Ohne stornierte Anlagen

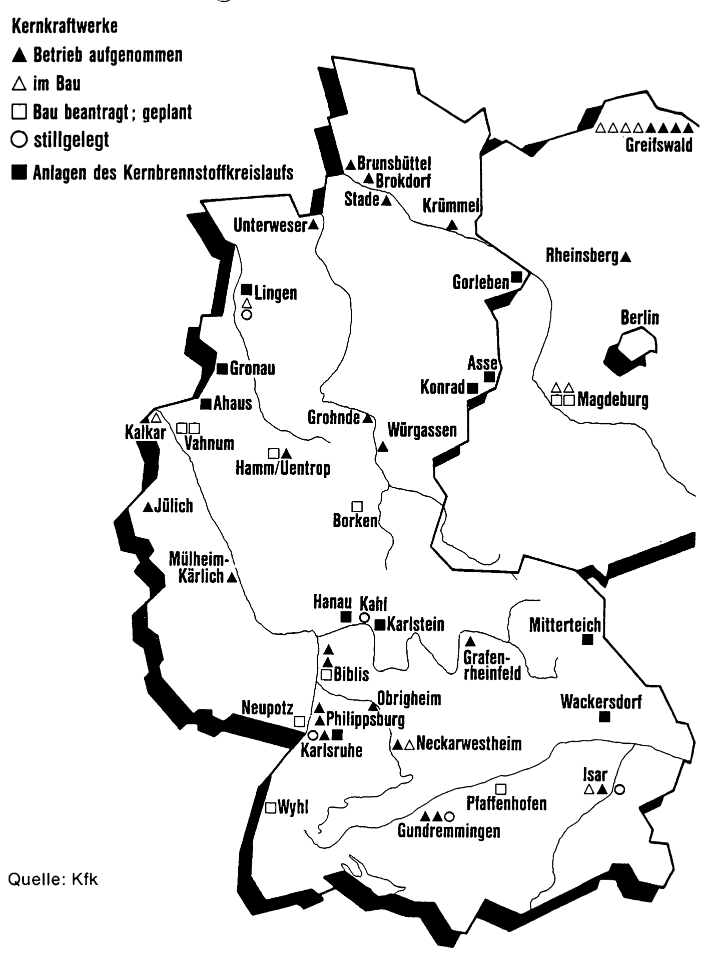
Quelle: atw 3/87

17. Kernkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland (Stand: Ende 1986)

Auftrag Jahr	Bezeichnung und Standort	Reaktor-Typ	Netto-leistung MWe	Antrag	kommer-zieller Betriebs-beginn	Stromer-zeugung bis 31.12.1986 GWh
in Betrieb						
1959	AVR, Jülich	HTR	13	2/58	1967	1 551
1964	KWO, Obrigheim	DWR	340	7/64	1968	44 073
1966	KNK-II, Karlsruhe*	SNR	17	6/70	1978	352
1967	KWW, Würgassen	SWR	640	7/67	1973	42 045
1967	KKS, Stade	DWR	640	7/67	1972	73 098
1969	Biblis A	DWR	1 147	6/69	1974	87 678
1969	KKB, Brunsbüttel	SWR	771	11/69	1976	35 810
1970	KKP-1, Philippsburg	SWR	864	10/69	1979	34 207
1971	GKN-1, Neckarwestheim	DWR	795	4/71	1976	58 492
1971	KKI-1, Essenbach	SWR	870	7/71	1979	45 151
1971	KKU, Unterweser	DWR	1 230	4/71	1978	75 352
1971	Biblis B	DWR	1 238	5/71	1977	77 027
1975	KKG, Grafenrheinfeld	DWR	1 235	6/73	1982	48 231
1972	KKK, Krümmel	SWR	1 260	7/71	1983	30 702
1974	KRB-B, Gundremmingen	SWR	1 249	12/73	1984	24 961
1974	KRB-C, Gundremmingen	SWR	1 249	3/74	1985	19 438
1975	KWG, Grohnde	DWR	1 300	12/73	1985	23 572
1975	KKP-2, Philippsburg	DWR	1 268	6/75	1985	20 627
1970	THTR-300 Uentrop	HTR	296	1/70	1985	596
1973	Mülheim-Kärlich[1)]	DWR	1 227	12/72	1986	1 582
1975	KBR, Brokdorf[1)]	DWR	1 307	3/74	1986	1 688
im Bau (geordnet nach voraussichtlicher Inbetriebnahme)						
1972	SNR-300, Kalkar	SNR	280	10/70	1987	
1981	KKI-2, Essenbach	DWR	1 285	2/79	1988	
1975	KKE Emsland, Lingen	DWR	1 242	11/80	1988	
1982	GKN-2, Neckarwestheim	DWR	1 241	11/80	1989	

* KNK wurde nach Umbau mit schnellem Kern 1977 wieder in Betrieb genommen.
1) In der Inbetriebnahme.

18. Standorte deutscher Kernkraftwerke und Anlagen des Brennstoffkreislaufs



Quelle: Kfk

19. Stromerzeugung in Kernkraftwerken 1985/86

Land	1985 Anteil an der gesamten Stromerzeugung in Prozent	1986 Anteil an der gesamten Stromerzeugung in Prozent
Frankreich	64,8	69,8
Belgien	59,8	67,0
Schweden	42,3	50,3
Taiwan	53,1*	43,8*
Südkorea	22,1*	43,6
Schweiz	39,8	39,2
Finnland	38,2	38,4
Bulgarien	31,6	30,0
Bundesrepublik Deutschland	31,2	29,4
Spanien	24,0	29,4
Japan	22,7	24,7
Tschechoslowakei	14,6	21,0*
Großbritannien	19,3	18,4
Ungarn	23,6	18,3
USA	15,5	16,6
Kanada	12,7	14,7
DDR	12,0*	11,6*
Argentinien	11,3*	11,3*
UdSSR	10,3*	10,0*
Südafrika	4,2	6,8
Niederlande	6,1	6,2
Jugoslawien	5,1*	5,4
Italien	3,8	4,5
Indien	2,2*	2,7
Pakistan	0,9	1,8*
Brasilien	1,7*	0,1

*) Schätzungen der IAEO

Quelle: IAEO

20. Betriebsergebnisse deutscher Kernkraftwerke 1986

	Stromerzeugung in Mrd. kWh		Zeitverfügbarkeit in %*)		Arbeitsverfügbarkeit in %*)	
	1985	1986	1985	1986	1985	1986
Versuchskraftwerke						
AVR Jülich [2)]	0,097	0,085	74,8	65,5	74,8	65,5
KNK Karlsruhe [2)]	0,070	0,019	45,3	13,0	36,9	11,1
Leistungskraftwerke						
KWO Obrigheim	2,720	2,795	88,8	89,8	87,1	88,7
KKS Stade	5,106	5,280	88,6	92,0	88,6	89,2
KWW Würgassen	4,852	5,049	90,7	89,1	87,4	86,1
Biblis A	8,017	7,443	77,6	82,5	73,7	76,9
Biblis B	8,280	7,176	79,0	72,7	73,8	68,2
GKN-1 Neckarwestheim	6,595	4,427	91,9	61,3	90,9	59,6
KKB Brunsbüttel	5,883	5,889	87,5	89,1	83,1	86,1
KKI-1 Isar	6,807	6,657	91,4	89,9	85,4	83,4
KKU Unterweser	10,474	7,690	94,5	71,4	94,3	67,4
KKP-1 Philippsburg	6,392	5,445	86,3	70,2	81,7	69,1
KKP-2 Philippsburg	9,877	10,750	96,9	90,8	96,9	90,6
KKG Grafenrheinfeld	10,260	9,204	93,1	81,9	90,5	80,9
KKK Krümmel	9,711	9,888	88,2	88,8	86,1	87,0
KRB-B Gundremmingen	9,652	8,767	89,6	84,9	85,5	83,1
KRB-C Gundremmingen	9,607	8,445	91,0	90,7	88,9	84,7
KWG Grohnde	11,477	10,793	95,6	92,7	95,1	89,7
THTR-300 Uentrop[1)]	0,010	0,586	–	–	–	–
Mülheim-Kärlich[1)]	–	1,582	–	–	–	–
KBR-Brokdorf[1)]	–	1,688	–	–	–	–
	125,887	119,658	–	–	–	–

1) In der Inbetriebnahme
2) Einbau von Versuchseinrichtungen
*) auf Nettobasis

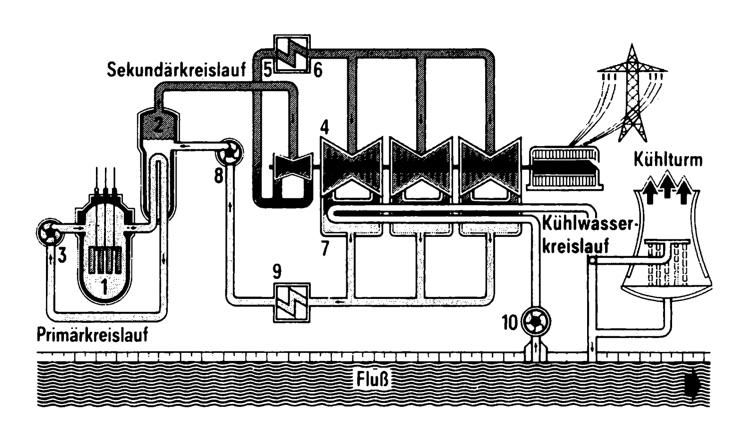
Im internationalen Vergleich standen deutsche Anlagen an der Spitze. Die Kernkraftwerke Grohnde und Philippsburg wurden Weltmeister der Stromerzeugung. Auch die Sicherheitsbilanz kann sich sehen lassen: Bisher trat kein Störfall auf, der die Umgebung oder die in Kernkraftwerken Beschäftigten hätte gefährden können.

21. Leichtwasserreaktoren

In Leichtwasserreaktoren (LWR), die weltweit in kommerziell betriebenen Kernkraftwerken eingesetzt sind, wird Wärme durch die kontrollierte Kernspaltung erzeugt. Der aus Brenn- und Steuerelementen bestehende Reaktorkern ist von einem wassergefüllten stählernen Druckbehälter umschlossen.

Zu den Leichtwasserreaktoren gehören Siedewasser (SWR)- und Druckwasserreaktoren (DWR). Bei Siedewasserreaktoren wird das Kühlmittel Wasser im Reaktor sogleich in Dampf zum direkten Antrieb der Turbine verwandelt.

Kernkraftwerk mit Druckwasserreaktor, Kreislauf

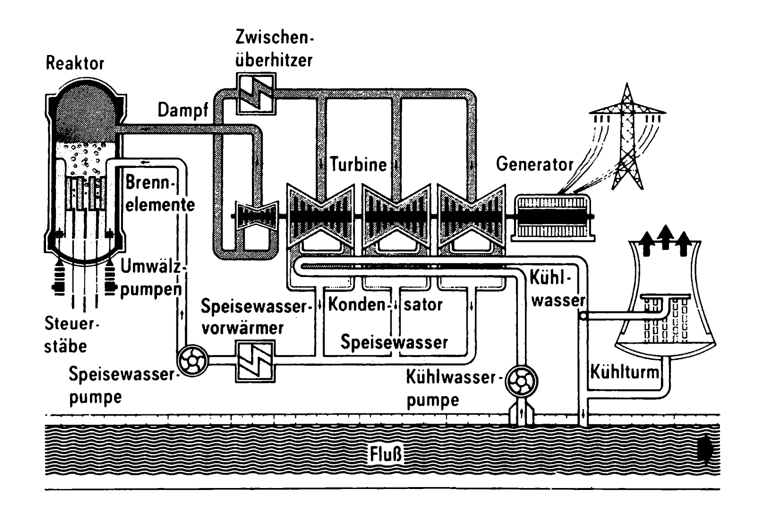


1 Reaktor
2 Dampferzeuger
3 Hauptkühlmittelpumpe
4 Turbosatz
5 Wasserabscheider
6 Zwischenüberhitzer
7 Kondensator
8 Speisewasserpumpe
9 Vorwärmer
10 Kühlwasserpumpe

Quelle: KWU

Bei Druckwasserreaktoren überträgt das Wasser des Primärkreislaufs (unter Druck, damit es nicht siedet) die im Reaktor aufgenommene Wärme an Dampferzeuger. Der dort entstehende Dampf wird in einem Sekundärkreislauf der Turbine zugeführt, wo er nach Kondensation als Wasser wieder zu den Dampferzeugern gelangt.

Kernkraftwerk mit Siedewasserreaktor, Kreislauf



Quelle: KWU

22. Der Schnelle natriumgekühlte Brutreaktor

Brüter können mehr Spaltstoff erzeugen als sie verbrauchen. Die Erzeugung neuen Spaltstoffs erfolgt durch Neutroneneinfang in den nicht spaltbaren Atomkernen des Uran-Isotops 238 und der daraus resultierenden Bildung neuer spaltbarer Kerne des Plutonium-Isotops 230.

Die Kernspaltung erfolgt im Interesse des Bruteffekts praktisch ausschließlich mit schnellen Neutronen. Im Gegensatz dazu arbeiten die heute eingesetzten Leichtwasserreaktoren (LWR) überwiegend mit abgebremsten (thermischen) Neutronen.

Da im Brüter die Neutronen möglichst wenig abgebremst werden sollen, scheidet Wasser wegen seiner Bremswirkung als Kühlmittel aus. In Frage kommen Gas, Wasserdampf oder flüssiges Metall. Alle Länder, die Schnelle Brüter entwickeln, haben sich aus technischen Gründen für das Flüssigmetall Natrium entschieden.

Der Schnelle Brüter kann das Uran bis zu 60fach besser ausnutzen als die heutigen Leichtwasserreaktoren. Deshalb können sie die Energieversorgungslage langfristig in entscheidender Weise verbessern:

- Für sehr lange Zeiträume kann in Brütern das Abfalluran aus dem vorausgegangenen Betrieb von LWR genutzt werden; es muß nicht bergmännisch gewonnen werden, sondern steht in aufbereiteter Form zur Verfügung.

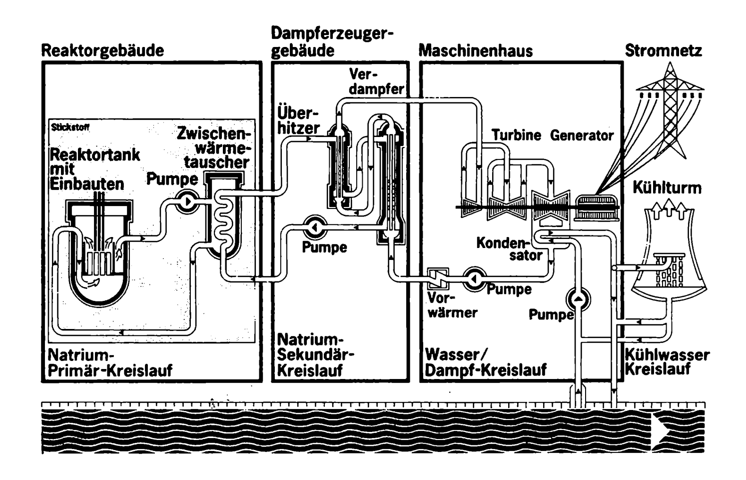
- Das beim Betrieb von LWR zwangsläufig entstehende Plutonium kann zur Spaltstoff-Erstausstattung von Brütern optimal genutzt werden.

- Da Abfalluran und Plutonium im Inland ausreichend verfügbar gemacht werden können, wird die Kernenergie durch den Brüter zu einer heimischen Energiequelle.

Schnelle natriumgekühlte Brutreaktoren erfüllen die Sicherheitsanforderungen ebenso wie andere Reaktortypen.

Seit 1973 wird in Kalkar am Niederrhein das Prototyp-Brüterkraftwerk SNR 300 gebaut. Diese Anlage ist ein wichtiger Schritt auf dem Weg zur kommerziellen Nutzung der Brütertechnologie. Das Kraftwerk soll 1987 fertiggestellt sein.

Schneller natriumgekühlter Brutreaktor, Kreislauf



23. Die Brutreaktoren der Welt

Reaktor	Land	Betriebs-beginn	Leistung MWth	MWe	Bauart P (Pool) L (Loop)
Brutreaktoren in Betrieb					
EBR-II	USA	1964	62,5	20	P
BOR-60	UdSSR	1969	69	12	L
BR-10	UdSSR	1973	10	–	L
BN-350	UdSSR	1973	1000	150	L
Phénix	Frankreich	1973	563	250	P
PFR	Großbritannien	1974	600	250	P
KNK-II	BR Deutschland	1977	58	20	L
Joyo	Japan	1978	100	–	L
FFTF	USA	1980	400	–	L
BN-600	UdSSR	1980	1470	600	P
Brutreaktoren im Bau bzw. in der Inbetriebnahme					
SNR-300	DeBeNe	1987	760	327	L
Superphénix	Frank., Italien, DeBeNe	1986	3000	1240	P
FBTR	Indien	1985	40	14	L
PEC	Italien	im Bau	116	–	L
Monju	Japan	1992 (Baubeg. 1985)	714	280	L
Projektierte Brutreaktoren					
SNR 2	DeBeNe, Italien, Frankr.		3000	1300	P
SPX-2	Frankreich		3000	1240	P
CDFR	Großbritannien			1300	P
BN-800	UdSSR		2500	800	P
BN-1600	UdSSR		5000	1600	P
	Indien		1230	500	P
	Japan			1000	
	Argentinien/Brasilien				

Quelle: Interatom

24. Der Hochtemperaturreaktor

Der Hochtemperaturreaktor ist eine universell einsetzbare Energiequelle, die Wärme bei hoher Temperatur bis 950 °C für den Strom- und gesamten Wärmemarkt bereitstellt.

Die Stromerzeugung erfolgt mit hohem Anlagenwirkungsgrad, der bei Kraft-Wärme-Kopplung (Fernwärme, Prozeßwärme) noch erheblich gesteigert werden kann.

Weiteres Ziel der HTR-Entwicklung ist die direkte Nutzung der nuklear erzeugten Wärme bei hoher Temperatur für chemische Prozesse, insbesondere zur Kohlevergasung.

Der HTR wurde in Deutschland als Kugelhaufenreaktor entwickelt. Der Reaktorkern besteht aus einer losen Schüttung von kugelförmigen Brennelementen, die von einem zylindrischen Graphitaufbau als Neutronenreflektor umschlossen wird.

Die Brennelemente von 60 mm Durchmesser bestehen aus Graphit, in den der Brennstoff in Form vieler kleiner beschichteter Teilchen eingebettet ist. Die Beschichtung der Brennstoffteilchen mit Pyrokohlenstoff und Siliciumkarbid dient zur Rückhaltung der Spaltprodukte. Die Brennelementbeschickung erfolgt kontinuierlich während des Leistungsbetriebs.

Zur Kühlung des Reaktorkerns dient das Edelgas Helium, das beim Durchströmen der Kugelschüttung je nach Anwendungszweck auf 700 °C bis 950 °C erhitzt wird und seine Wärme in Dampferzeugern bzw. Wärmetauschern wieder abgibt.

Alle Komponenten des primären Helium-Kreislaufs sind in einem Reaktordruckbehälter eingeschlossen, der bei einer Leistungsgröße von über 200 MW als Spannbetonbehälter ausgeführt wird. Für Kleinreaktoren werden Stahldruckbehälter benutzt.

Als erster deutscher HTR ist das AVR-Versuchskraftwerk in Jülich seit 1967 in Betrieb. Es hat die Technik des Kugelhau-

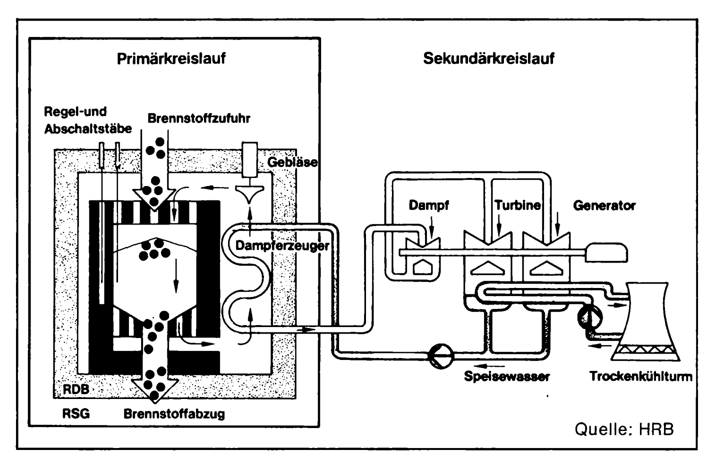
fenreaktors und seine Eignung für den Kraftwerksbetrieb bestätigt. Durch langjährigen Betrieb bei 950 °C Heliumtemperatur wurde die Eignung des HTR als Prozeßwärmereaktor demonstriert.

Als zweites deutsches Projekt nahm das 300 MWe-THTR-Prototypkernkraftwerk in Hamm-Uentrop 1985 den Leistungsbetrieb auf. Es ist die Referenzanlage für ein kommerzielles Nachfolgeprojekt mit 500 MW elektrischer Leistung, das sich in der Planung befindet.

Zur Versorgung größerer Industriebetriebe mit Strom und Prozeßdampf und zum Export in Entwicklungsländer werden kleinere HTR mit 170 bis 260 Megawatt Wärmeleistung entwickelt, sowie solche mit etwa 10 Megawatt als Heizreaktoren.

In Großbritannien und den USA waren je eine Versuchsanlage langjährig und erfolgreich in Betrieb (Dragon, Peach Bottom 1). In den USA ist die 330 MW Prototypanlage Fort St. Vrain seit 1976 in Betrieb.

Kernkraftwerk mit Hochtemperaturreaktor, Kreislauf



Quelle: HRB

25. Kernfusion

Unter Fusion versteht man die Verschmelzung zweier leichter Atomkerne zu einem schweren Kern, wobei Bindungsenergie frei wird. So können zwei Wasserstoffkerne (z. B. des Isotops Deuterium und Tritium) zu einem Helium-Kern verschmelzen. Beim Umsatz von 1 kg Deuterium wird eine Wärmemenge von rund 24 Millionen kWh frei. Das entspricht der Verbrennungswärme von 3 Millionen kg Steinkohle.

Obwohl weltweit an der Kernfusion gearbeitet wird und einige experimentelle Fortschritte erzielt wurden, ist der Bau einer Kernfusionsanlage, die den Nachweis eines dauerhaften Betriebes erbringen könnte, noch nicht absehbar.

Auch bei der Kernfusion entstehen durch die Aktivierung der Strukturmaterialien und das Brüten von Tritium radioaktive Stoffe und radioaktive Abfälle, die ähnlich wie bei der Kernspaltung sicher endgelagert werden müssen.

26. Strahlenschutzverordnung

In der am 1. April 1977 in Kraft getretenen neuen Strahlenschutzverordnung sind Dosisgrenzwerte für verschiedene Personengruppen festgelegt. Sie beruhen auf Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutz-Kommission (ICRP) und den EURATOM-Grundnormen für den Gesundheitsschutz der Bevölkerung und der Arbeitskräfte gegen die Gefahren ionisierender Strahlen und enthalten solche Sicherheitsfaktoren, daß gesundheitsschädigende Wirkungen mit größter Sicherheit ausgeschlossen sind.

In der Strahlenschutzverordnung ist der Grundsatz festgeschrieben, daß jede unnötige Strahlenexposition zu ver-

meiden und jede Strahlenexposition – auch unterhalb der gesetzlich festgelegten Grenze – nach dem Stand von Wissenschaft und Technik so gering wie möglich zu halten ist.

Für die Gruppe der beruflich strahlenexponierten Personen beträgt der maximal zugelassene Dosiswert 50 Millisievert pro Jahr (5000 mrem), für die allgemeine Bevölkerung durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft und Wasser aus Kernkraftwerken maximal jeweils 0,30 Millisievert pro Jahr (30 mrem).

27. Strahlenexposition

Seit Herbst 1958 werden die von amtlichen Meßstellen festgestellten Werte der Radioaktivität in der menschlichen Umwelt gemessen und veröffentlicht. Dabei ergaben sich bisher, von kleinen Schwankungen abgesehen, die nachfolgenden Werte:

Mittlere natürliche Strahlenexposition

Strahlenquelle	effektive Dosis/Jahr in Millisievert (Millirem)	
äußere Bestrahlung		
– kosmische Bestrahlung	0,30	(30)
– terrestrische Strahlung	0,35	(35)
innere Bestrahlung	1,35	(135)
gesamt	2	(200)

Strahlenquelle	effektive Dosis/Jahr in Millisievert	(Millirem)
Röntgenstrahlen und radioaktive Stoffe in der Medizin	1	(100)
Radioaktivität der Atombombentests	< 0,01	(< 1)
radioaktive Leuchtfarben, Fernsehen, Flugreisen u. a.	< 0,01	(<1)
kerntechnische Anlagen	0,0005	(0,001)
gesamt	1	(100)

Auch nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl kann aufgrund des Vergleichs mit der natürlichen Strahlenexposition festgestellt werden, daß die strahlungsinduzierten gesundheitlichen Risiken für die Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland nicht signifikant sind.

28. Vergleichbarkeit natürlicher und zivilisatorischer Strahlenexposition

Alle Arten ionisierender Strahlen bewirken die gleichen primären physikalischen Prozesse der Ionisation oder Anregung von Atomen oder Molekülen des bestrahlten Materials. Dies ist unabhängig davon, ob sie natürlichen oder künstlichen Ursprungs sind. Durch nachfolgende chemische und biochemische Effekte können biologische Wirkungen, Veränderungen und Schäden entstehen.

Wenn die Strahlenexpositionen in den Maßeinheiten der Äquivalentdosis (Sievert bzw. Rem) angegeben werden, so sind sie direkt vergleichbar, gleichgültig ob es sich um natürliche oder künstliche, von innen oder von außen kommende Strahlenexpositionen handelt.

Die Strahlenschutzkommision stellt dazu fest: Die Äquivalentdosis ist für den Strahlenschutz ein zuverlässiges, hinreichend genaues Vergleichsmaß für unterschiedliche – natürliche oder künstliche – Strahlenexpositionen.

29. Leben mit Radioaktivität und Strahlung

Radioaktivität und Strahlung gibt es schon immer und überall. Neben der Höhen- und terrestrischen Strahlung ist jeder Mensch in seinem privaten Bereich einer weiteren Strahlenexposition ausgesetzt. Dies gilt für jede Flugstunde, jede Bergwanderung, für die Anwendungen im medizinischen Bereich, für Kurgäste in einem Radon-Heilbad und nicht zuletzt für unsere Wohnung.

Der Mittelwert in der Bundesrepublik bei externer Strahlung durch Baumaterial liegt bei 0,2 mSv (20 mrem); der Mittelwert durch inkorporierte Radon-Folgeprodukte sogar bei 1,0 mSv (100 mrem).

Hohe Radon-Konzentrationswerte treten bei geringem Luftaustausch in Wohnungen auf. Das verbesserte Abdichten von Fenstern und Türen zum Einsparen von Heizenergie bringt also unvermeidlich eine höhere Strahlenbelastung.

Belastung des Betriebspersonals

■ Stollen-Ärzte	10 –	70 mSv pro Jahr
■ allgemeines Personal	4 –	18 mSv pro Jahr
■ Arbeitskräfte unter Tage (Bergleute, Lokführer, ...)	140 –	190 mSv pro Jahr

Kurgäste; Kurdauer 30 Tage

■ Inhalationskur; Anwendung 1 h/Tag	0,5 –	2,6 mSv pro Kur
■ Trinkkur; Anwendung 1 l/Tag	0,05 –	0,3 mSv pro Kur

Einwohner der direkten Umgebung 2 – 10 mSv pro Jahr

1 mSv = 100 mrem

Quelle: E. Pohl, Strahlenschutz in Forschung u. Technik, Bd. 13 / Thiemig Verlag 1982

Beispiel der Strahlenbelastung durch ein Radon-Heilbad

Quelle: KWU

30. Strahlenexposition nach Tschernobyl

Nach den bisher vorliegenden Meßergebnissen und Berechnungen wird aus dem Reaktorunfall in Tschernobyl für Kinder in Gebieten nördlich der Donau eine gesamte effektive Dosis für die nächsten 50 Jahre von 0,6 Millisievert (60 Millirem) resultieren; südlich der Donau beträgt die Gesamtdosis 1,9 mSv (190 mrem). Die Werte für Erwachsene weichen nur geringfügig hiervon ab. Im ersten Folgejahr nach dem Unfall betrug die effektive Dosis für Kinder in Gebieten nördlich der Donau 0,2 mSv (20 mrem), südlich der Donau lag sie bei 0,6 mSv (80 mrem). Diese Zahlen nannte die Strahlenschutzkommission in einem Bericht über die Folgen des Unfalls in Tschernobyl für die Bewohner der Bundesrepublik Deutschland.

Daraus ergibt sich, daß die durch den Reaktorunfall bedingten Strahlendosen auch im ersten Jahr nach dem Unfall im Bereich der Schwankungsbreite der natürlichen Strahlenexposition blieben und in den folgenden Jahren weit darunter liegen.

31. Strahlenwirkung

Akute Strahlenschäden des Menschen werden nur nach Bestrahlungen mit sehr hohen Dosen beobachtet. Die folgende Zusammenstellung zeigt das Auftreten der einzelnen Krankheitssymptome in Abhängigkeit von der Dosis.

Zu erwartende Wirkungen einer akuten Ganzkörperbestrahlung bei

- 0–500 mSv: keine nachweisbare Wirkung außer geringfügigen Blutbildveränderungen;
- 800–1200 mSv: bei 5 bis 10 % der Exponierten etwa 1 Tag lang Erbrechen, Übelkeit und Müdigkeit;

- 1300–1700 mSv: bei etwa 25 % der Exponierten etwa 1 Tag lang Erbrechen und Übelkeit, gefolgt von anderen Symptomen der Strahlenkrankheit; keine Todesfälle zu erwarten;
- 1800–2600 mSv: bei etwa 25 % der Exponierten etwa 1 Tag lang Erbrechen und Nausea (Übelkeit, Brechreiz), gefolgt von anderen Symptomen der Strahlenkrankheit; einzelne Todesfälle möglich;
- 2700–3300 mSv: bei fast allen Exponierten Erbrechen und Neusea am ersten Tag, gefolgt von anderen Symptomen der Strahlenkrankheit; etwa 20 % Todesfälle innerhalb von 2 bis 6 Wochen nach Exposition; etwa 3 Monate lange Rekonvaleszenz der Überlebenden;
- 4000–5000 mSv: bei allen Exponierten Erbrechen und Nausea am ersten Tag, gefolgt von anderen Symptomen der Strahlenkrankheit; etwa 50 % Todesfälle innerhalb eines Monats; etwa 6 Monate lange Rekonvaleszenz der Überlebenden;
- 5000–7500 mSv: bei allen Exponierten Erbrechen und Nausea innerhalb 4 Stunden nach Exposition, gefolgt von anderen Symptomen der Strahlenkrankheit. Bis zu 100 % Todesfälle; wenige Überlebende mit Rekonvaleszenzzeiten von etwa 6 Monaten;
- 10000 mSv: bei allen Exponierten Erbrechen und Nausea innerhalb 1 bis 2 Stunden; wahrscheinlich keine Überlebenden;
- 50000 mSv: fast augenblicklich einsetzende schwerste Krankheit; Tod aller Exponierten innerhalb einer Woche.

Wissenschaftlich korrekt wären die Dosisangaben in der Einheit Milligray (mGy) zu machen. Zum leichteren Verständnis wurde die Einheit Millisievert (mSv) beibehalten, zumal für Beta- und Gamma-Strahlen kein Unterschied besteht.

32. Emissionen radioaktiver Stoffe aus Kohle- und Kernkraftwerken

Eine von der Strahlenschutzkommision eingesetzte Arbeitsgruppe ist zu dem Ergebnis gekommen, daß die Abgaben radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus Kohlekraftwerken bzw. Kernkraftwerken beim gegenwärtigen Stand der Abluftreinigung bzw. der Rückhaltetechnik für die Strahlendosis der Bevölkerung von minimaler Bedeutung ist.

	effekt. Äquivalentdosis mSv pro Jahr	Strahlenquelle
Steinkohlekraftwerk 500 MW	**0,004–0,06**	Blei 210 Polonium 210 Radium 226 Radon 222
Braunkohlekraftwerk 500 MW	**0,001–0,04**	
Kernkraftwerk 1300 MW	**0,001–0,02**	Spalt- und Aktivierungsprodukte
Erdwärmekraftwerk in Neuseeland, 145 MW	**1**	Radon 222 und Folgeprodukte
Kernfusion Schätzwert für 5000 MW	**1**	Tritium und Aktivierungsprodukte

1 mSv = 100 mrem

Strahlenbelastung durch die Abluft von Kraftwerken an der ungünstigsten Einwirkungsstelle

Quelle: KWU

33. Brennstoff Plutonium

Das 1940 von amerikanischen Forschern entdeckte Element Plutonium (Pu) ist ein radiotoxischer Stoff. Seine chemische Giftigkeit ist demgegenüber unbedeutend; sie entspricht der von Blei. In der Natur kommt Plutonium in verschwindend kleinen Mengen bei uranhaltigen Materialien vor. Durch oberirdische Kernwaffentests wurden bisher schätzungsweise sechs Tonnen des Plutoniums-Isotops Pu-239 in die Atmosphäre freigesetzt, die sich zum überwiegenden Teil als weltweiter Fall-out auf der Erde abgelagert haben.

Auch beim Betrieb von Kernkraftwerken ensteht aus dem Uran-Isotop U-238 Plutonium; in der Bundesrepublik Deutschland also seit mehr als 25 Jahren mit der Inbetriebnahme der ersten Kernkraftwerke. So wird beispielsweise in einem Druckwasserreaktor während der dreijährigen Einsatzzeit der Brennelemente 2,2 % des U-238 in Plutonium umgewandelt. (Das sind, bezogen auf die jährliche Entlademenge von rund 35 t eines 1300-MWe-Kernkraftwerkes, rund 750 kg Pu). Davon werden 55 % unmittelbar wieder gespalten und tragen somit zur Energieerzeugung des Reaktors bei. Die in den Brennelementen verbleibenden 45 % des erzeugten Plutoniums, das zu etwa zwei Drittel aus spaltbaren Pu-Isotopen besteht, können nach Wiederaufarbeitung der Brennelemente wieder in den Brennstoffkreislauf zurückgeführt werden.

Brennelemente, die eine Mischung aus Uran und Plutonium enthalten, werden in der Bundesrepublik seit vielen Jahren zur Stromerzeugung in Kernkraftwerken eingesetzt. Energiewirtschaftlich versteht sich das von selbst, denn der Energieinhalt von 500 kg Pu entspricht einer Mio. t Steinkohle.

Der sicherste Schutz vor Plutonium ist die Rückführung in den Brennstoffkreislauf.

34. Kernkraftwerke produzieren kein Bomben-Plutonium

Für die Verwendung in Kernwaffen ist nur weitgehend reines Pu-239 geeignet. Bei den für einen wirtschaftlichen Reaktorbetrieb erforderlichen langen Einsatzzeiten der Brennelemente im Reaktor (ein Jahr und länger) entsteht ein so großer Anteil anderer Plutoniumisotope, daß dieses „Reaktor-Plutonium" für eine waffentechnische Verwendung ungeeignet ist.

Beim Abschluß der Pariser Verträge im Jahre 1955 und mit der Unterzeichnung des Atomwaffensperrvertrages hat die Bundesrepublik Deutschland auf die Herstellung und den Besitz von Kernwaffen und jegliche militärische Verwendung spaltbaren Materials verzichtet. Darüber hinaus stehen alle Stellen und Anlagen, die mit spaltbarem Material umgehen (Reaktoren, Wiederaufarbeitungsanlagen, Brennelementfabriken) unter ständiger internationaler Kontrolle von Euratom und der Internationelen Atomenergie-Organisation (IAEO) in Wien.

35. Besondere Vorkommnisse in Kernkraftwerken der Bundesrepublik Deutschland

Die Vorkommnisse werden entsprechend der sicherheitstechnischen Bedeutung unterschiedlichen Kategorien zugeordnet. Der BMI bzw. neuerdings der Bundesumweltminister (BMU) veröffentlicht jährlich eine Übersicht.

In der 1986 vorgelegten Übersicht über besondere Vorkommnisse im Jahr 1985 stellt der BMU fest, daß keines der besonderen Vorkommnisse des Jahres 1985 ein Störfall mit Freiset-

zung von Radioaktivität oder gar ein Unfall im Sinne der Strahlenschutzverordnung war. Bei keinem Vorkommnis bestand Gefahr für Personen oder für die Umgebung. Die radioaktiven Abgaben der Kernkraftwerke lagen deutlich unter den genehmigten Grenzwerten. Vorkommnisse der höchsten Meldekategorie kamen 1985 nicht vor. In der mittleren Meldekategorie lag die Zahl der Vorkommnisse auf dem Niveau der Vorjahre. Der ganz überwiegende Teil (knapp 90 Prozent) der insgesamt 239 besonderen Vorkommnisse in Kernkraftwerken gehörte zur niedrigsten Meldekategorie.

Störfallkategorien

Kategorie S: Dieser Kategorie sind solche Vorkommnisse zuzuordnen, die der Aufsichtsbehörde sofort gemeldet werden müssen, damit sie gegebenenfalls in kürzester Frist Prüfungen einleiten oder Maßnahmen veranlassen kann. Hierunter fallen auch die Vorkommnisse, die akute sicherheitstechnische Mängel aufzeigen.

Kategorie E: In der Kategorie E sind solche Vorkommnisse einzustufen, die zwar keine Sofortmaßnahmen der Aufsichtsbehörde verlangen, deren Ursache aber aus Sicherheitsgründen geklärt und in angemessener Frist behoben werden muß. Dies sind z. B. Vorkommnisse, die sicherheitstechnisch potentiell – aber nicht unmittelbar – signifikant sind.

Kategorie N: Der Kategorie N sind Vorkommnisse von allgemeiner sicherheitstechnischer Relevanz zuzuordnen, über die die Aufsichtsbehörde informiert werden muß. Dies sind in der Regel Vorkommnisse, die über routinemäßige betriebstechnische Ereignisse hinausgehen und im Sinne der BMI-Sicherheitskriterien von Bedeutung sind (Gewährleistung eines möglichst störfallfreien und umweltverträglichen Betriebs der Anlage; ausreichend zuverlässige Vermeidung von Störfällen durch entsprechende Auslegung, Qualität und Fahrweise der Anlage).

Kategorie V (Vor Beladung): Der Kategorie V sind alle Vorkommnisse zuzuorden, über die die Aufsichtsbehörde im Hinblick auf den späteren sicheren Betrieb der Anlage informiert werden muß.

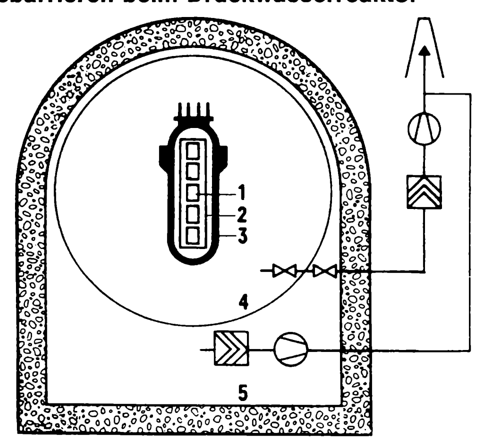
36. Ein Kernkraftwerk ist keine Atombombe

Eine nukleare Explosion eines Kernreaktors analog einer Atombombe ist selbst bei Versagen aller Sicherheitseinrichtungen aus physikalischen Gründen nicht möglich. Das in Leichtwasserreaktoren eingesetzte Uran besteht nur zu drei bis vier Prozent aus dem spaltbaren Uran-235; der größte Teil des Kernbrennstoffs besteht aus dem nichtspaltbaren Uran-238. Zur Erzielung einer nuklearen Explosion wäre hochangereichertes Uran-235 erforderlich, dazu noch in einer besonderen physikalisch-technischen Anordnung, die in einem Kernreaktor – auch im Schnellen Brüter und im Hochtemperaturreaktor – nicht auftreten kann.

37. Sicherheitskonzept für deutsche Kernkraftwerke

Beim Sicherheitskonzept für Kernkraftwerke wird von der Hypothese ausgegangen, daß ein komplexes technisches System, sei es auch noch so perfekt konstruiert, versagen kann. Auf diesem Grundsatz wurde die Sicherheit von Kernkraftwerken konzipiert. Es galt daher nicht allein ein möglichst perfektes System zu schaffen, das Fehler weitestgehend vermeidet, sondern ein System, das auch „fehlerverzeihend" ausgerichtet ist. Das heißt, technisches und menschliches Versagen wurden bei der Entwicklung des Sicherheitskonzeptes für Kernkraftwerke bewußt unterstellt.

Aktivitätsbarrieren beim Druckwasserreaktor



1 gesinterter Brennstoff
2 Brennstabhüllrohr
3 Reaktordruckbehälter
4 Sicherheitsbehälter
5 Stahlbetonhülle (Schutz vor Erdbeben, Flugzeugabsturz und Gaswolkenexplosion)

Die grundlegende Vorgehensweise beruht auf der Verbindung des „Barrieren-Konzeptes" mit dem „mehrstufigen Schutzkonzept". Die Spaltprodukte, die das wesentliche Gefährdungspotential eines Kernkraftwerkes darstellen, werden durch mehrere einander umschließende Strukturen (Aktivitätsbarrieren) von der Außenwelt getrennt.

Die Barrieren wiederum werden durch ein mehrstufiges Schutzkonzept gegen Beschädigung geschützt. Dies sind in der ersten Stufe hohe **Qualitätsanforderungen** an alle Anlagenteile, um die Häufigkeit von Störungen möglichst gering zu halten. In der zweiten Stufe **Schutzeinrichtungen**, um Störungen abzufangen, und schließlich in der dritten Stufe **Sicherheitssysteme**, um bei Störfällen eine Überbeanspruchung

von Aktivitätsbarrieren zu verhindern und ihre Dichtheit sicherzustellen. Zur Erhöhung der Zuverlässigkeit tragen außerdem die Prinzipien der Redundanz, Diversität und räumlichen Trennung wichtiger redundant ausgelegter Sicherheitseinrichtungen bei.

Die Richtigkeit dieses Konzeptes belegt die Tatsache, daß bisher in der Bundesrepublik Deutschland weder Personal noch Bevölkerung durch ionisierende Strahlen oder radioaktive Stoffe aus Kernkraftwerken zu Schaden gekommen sind.

Bedeutsames Beispiel dafür in den USA ist auch der Störfall im Kernkraftwerk Three Mile Island. Fehler des Bedienungspersonals konnten letztlich vom Sicherheitssystem aufgefangen und damit schwerwiegende Auswirkungen auf Personal und Umwelt verhindert werden.

Das sowjetische Kernkraftwerk Tschernobyl, in dem sich am 26. April 1986 ein schwerer Unfall ereignete, unterscheidet sich grundlegend von bundesdeutschen Kernkraftwerken. So haben erhebliche Schwächen in der sicherheitstechnischen Auslegung des sogenannten RBMK-Reaktors in Verbindung mit gravierenden Fehlhandlungen der Betriebsmannschaft zu dem Unfall geführt. Die bei uns gebauten und betriebenen Reaktortypen verfügen über eine Reihe von Eigenschaften, die einen solchen Unfall unmöglich machen. Sie sind z. B. mit zuverlässigen Begrenzungs- und Abschalteinrichtungen ausgerüstet, die ausreichend schnell und wirksam einen möglichen Leistungsanstieg ohne Schäden an den Brennstäben beenden. An das Reaktorschutzsystem wird generell die Anforderung gestellt, daß es bei Störfällen die Anlage automatisch in einen Zustand überführt, bei dem für mindestens 30 Minuten keine Maßnahmen durch das Personal erforderlich sind. Schließlich besitzen bundesdeutsche Reaktoren einen druckfesten Sicherheitsbehälter, der von einem Stahlbetongebäude umgeben ist. Dieser hält die radioaktiven Stoffe auch bei Unfällen zurück.

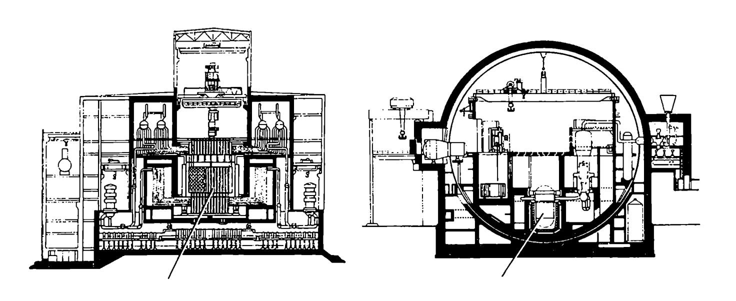
Vergleich eines deutschen Druckwasserreaktors mit dem russischen RBMK-Reaktor

RBMK-Reaktoren (Tschernobyl)

Keine druckfeste Sicherheitshülle: Möglichkeit der Freisetzung radioaktiver Spaltprodukte bei großen Unfällen

Deutscher Druckwasserreaktor

Druckfeste Sicherheitshülle: Zurückhaltung radioaktiver Spaltprodukte bei großen Unfällen



Reaktor: Graphitblock mit 1693 Kühlkanälen und je 2 Brennelementen

Reaktor: Druckbehälter mit 194 Brennelementen

Fazit: Bei deutschen Reaktoren werden radioaktive Spaltprodukte in der druckfesten Sicherheitshülle zurückgehalten, wenn es zu schweren Störfällen käme.

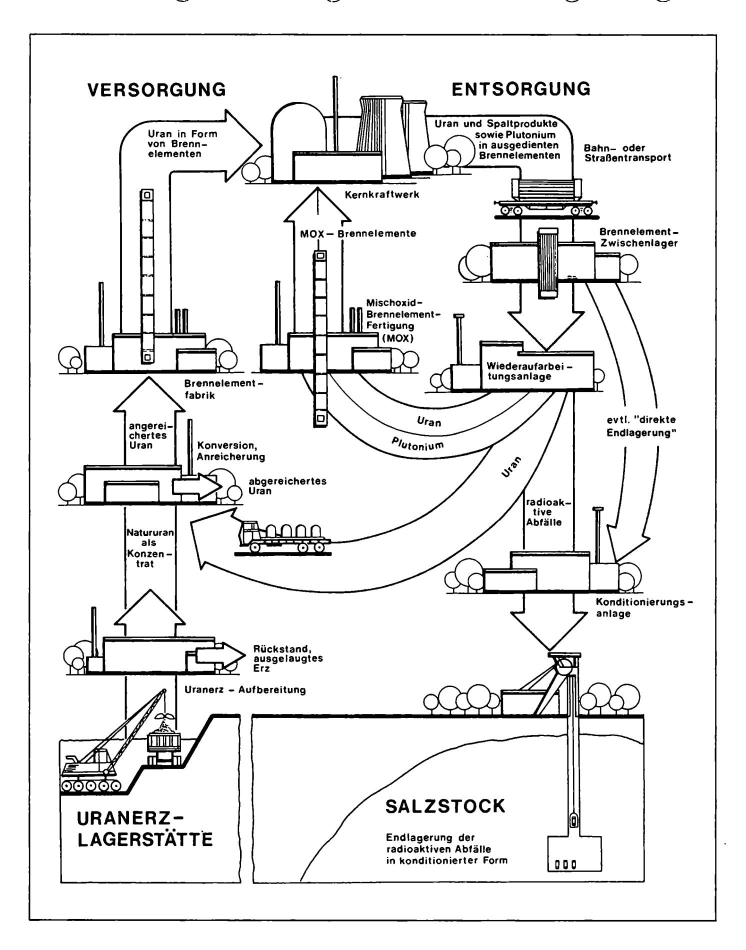
Quelle: KWU

38. Haftung bei kerntechnischen Anlagen

Nach dem Atomgesetz müssen Inhaber kerntechnischer Anlagen für Personen- und Sachschäden summenmäßig unbegrenzt haften; dabei ist es gleichgültig, ob der Schaden schuldhaft herbeigeführt wurde oder nicht.

Die Vorsorge für die Erfüllung seiner gesetzlichen Schadenersatzverpflichtung (Deckungsvorsorge) muß der Inhaber der Anlage nachweisen. Bei heutigen Kernkraftwerken beträgt die Deckungsvorsorge 500 Millionen DM pro Schadensfall. Sie ist durch Haftpflichtversicherungen nachzuweisen. Für etwaige darüber hinausgehende Schäden bis zu einer Milliarde DM übernehmen der Bund und das Sitzland gemeinsam die Freistellung des Anlageninhabers.

39. Der Brennstoffkreislauf von der Urangewinnung bis zur Endlagerung



40. Integriertes Entsorgungskonzept

Die Regierungschefs von Bund und Ländern haben Überlegungen zu einer gesicherten Entsorgung der Kernkraftwerke angestellt und diese in einem gemeinsamen Beschluß vom 28. September 1979 festgehalten. Er besagt:

- Eine gesicherte Entsorgung ist eine der Voraussetzungen für die weitere Nutzung und den weiteren begrenzten Ausbau der Kernenergie.
- Die Arbeiten zur Verwirklichung des integrierten Entsorgungskonzeptes werden fortgesetzt, da Wiederaufarbeitung, Rückführung der nicht genutzten Spaltstoffe und Endlagerung der Wiederaufarbeitungsabfälle nach dem heutigen Stand von Wissenschaft und Technik sicherheitstechnisch realisierbar sind.
- Errichtung einer Wiederaufarbeitungsanlage so zügig, wie unter Beachtung aller Gesichtspunkte möglich.
- Untersuchung anderer Entsorgungstechniken, wie z. B. die Endlagerung von abgebrannten Brennelementen ohne Wiederaufarbeitung und Beurteilung, ob sich hieraus entscheidende sicherheitsmäßige Vorteile ergeben können.
- Zügiges Vorantreiben der Erkundung und Erschließung des Salzstockes Gorleben, um dort gegebenenfalls ein Endlager errichten zu können.
- Bereitstellung der Fabrikationsanlagen für die gewählte Entsorgungstechnik und einer Endlagerstätte spätestens Ende der 90er Jahre.
- Ausbau der Zwischenlagerungsmöglichkeiten für eine Übergangszeit.

Unter „integriertem Entsorgungskonzept" wird ein geschlossenes System der Entsorgung mit Zwischenlagerung, Wieder-

aufarbeitung, Brennstoffrückführung, Abfallbehandlung und Endlagerung verstanden. Die Verwirklichung dieses Konzepts wird unter Anwendung der „Grundsätze zur Entsorgungsvorsorge für Kernkraftwerke“ im atomrechtlichen Genehmigungsverfahren für Kernkraftwerke überprüft.

Nach einem Beschluß der Bundesregierung vom 23. Januar 1985 soll zur Ergänzung des Entsorgungswegs mit Wiederaufarbeitung und zur Endlagerung solcher Brennelemente, für die die Entwicklung einer eigenen Wiederaufarbeitungstechnik wirtschaftlich nicht vertretbar ist, das Verfahren der direkten Endlagerung weiterentwickelt werden.

41. Brennelement-Lagerbecken

Einmal jährlich werden im Kernkraftwerk gebrauchte Brennelemente ausgetauscht und durch neue ersetzt. Die aus dem Reaktordruckgefäß herausgenommenen Brennelemente kommen anschließend in ein kraftwerkinternes Wasserbecken; hier klingen Radioaktivität und Wärmeabgabe so weit ab, daß sie in Spezialbehältern ins Zwischenlager abtransportiert werden können.

Um die Kapazität für die Aufbewahrung der Brennelemente zu erhöhen, werden in einigen Kernkraftwerken der Bundesrepublik die Abklingbecken mit speziellen Gestellen ausgerüstet. Dadurch können die Brennelemente in einem dichteren Abstand zueinander aufbewahrt werden. Diese umfassendere Nutzung des Brennelementbeckens ermöglicht es, die Aufbewahrungskapazität auf sechs bis zehn Betriebsjahre zu erhöhen. Die Maßnahme dient der Entsorgungs-Vorsorge im Sinne des Beschlusses der Regierungschefs von Bund und Ländern vom 29. September 1979, der mit Wirkung vom 29. Februar 1980 neugefaßt wurde.

42. Zwischenlagerung ausgedienter Brennelemente

Bis zur Verarbeitung in einer Wiederaufarbeitungsanlage oder bis zur direkten Endlagerung müssen für eine Übergangszeit ausgediente Brennelemente wegen der begrenzten Aufbewahrungskapazität innerhalb oder außerhalb der Kernkraftwerke zwischengelagert werden. Die in der Bundesrepublik Deutschland in Betrieb bzw. im Bau befindlichen Zwischenlager in Gorleben und Ahaus können jeweils 1500 Tonnen ausgediente Brennelemente aufnehmen.

Bei dieser Zwischenlagerung werden die Brennelemente in spezielle Transport/Lager-Behälter verpackt, die erst zum Transport vom Kernkraftwerk zum Zwischenlager und dann als Lagerbehälter dienen. Die 40 cm starke Wandung schirmt die Strahlung ab, an der Außenseite des Behälters angebrachte Kühlrippen gewährleisten eine sichere Wärmeabgabe an die Umgebungsluft durch Naturkonvektion.

43. Transport ausgedienter Brennelemente

Für den Transport ausgedienter Brennelemente von einem Kernkraftwerk zu einem Zwischenlager oder zu einer Entsorgungsanlage gibt es Spezialbehälter, die nach international festgelegten Normen gebaut werden.

In einer Bauartprüfung müssen die Stabilität und die Sicherheit der Behälterkonstruktion nachgewiesen werden. Das geschieht in dieser Reihenfolge:

- Freier Fall aus neun Meter Höhe auf ein mit einer Stahlplatte armiertes Betonfundament.

- Danach freier Fall aus 1,2 Meter Höhe auf einen Dorn.
- Anschließend wird der Behälter einem halbstündigen Feuer bei einer Temperatur von 800 Grad Celsius ausgesetzt.
- Schließlich wird der Behälter für acht Stunden in eine Wassertiefe von sechs Meter versenkt um festzustellen, ob er noch dicht ist.

Bei Versuchen in den USA, England und in der Bundesrepublik hat dieser Behältertyp noch weit größere Belastungen schadlos überstanden: extrem schwere Zugzusammenstöße sowie den freien Fall aus 600 Meter Höhe auf harten Boden.

Transportbehälter für bestrahlte Brennelemente gibt es in verschiedenen Ausführungen von ca. 35 bis 110 Tonnen Gewicht.

44. Abfallbehandlung

Ziel der Abfallbehandlung ist es, die bei der Wiederaufarbeitung entstehenden Abfälle und auch alle anderen Abfälle aus Kernkraftwerken in ein stabiles endlagergerechtes Produkt zu überführen. Anforderungen an die Abfallkonditionierung sind hohe Auslaugresistenz und ein möglichst geringes Volumen.

Flüssige oder feste schwachaktive Abfälle werden durch Vermischen mit Zement zu einem endlagerfähigen Produkt gebunden. Mittelaktive flüssige Abfälle werden durch Einrühren in Bitumen oder Vermischen mit Zement verfestigt, mittelaktive organische Abfälle können auch durch Einbringen in Kunststoffe fixiert werden.

Komplizierter sind die Verfahren zur Konditionierung der hochaktiven Abfallösungen, die über 99 Prozent der Aktivität der gesamten bei der Wiederaufarbeitung anfallenden radioaktiven Stoffe enthalten. Als geeignete Methode hat sich die

Verglasung erwiesen, d. h. die Abfälle werden in eine Glasschmelze eingebettet. Verschiedene Techniken wurden dafür bereits erprobt. Großtechnische Erfahrungen liegen aus der Verglasungsanlage in Marcoule (Frankreich) vor. Aus etwa 0,7 m^3 hochaktiver Spaltproduktlösung, die pro Tonne aufgearbeiteten Brennstoffs anfällt, entsteht nur etwas mehr als ein Glasblock mit einem Volumen von rund 180 Litern, der einschließlich seiner Edelstahlumhüllung ca. 480 kg wiegt.

In der Bundesrepublik Deutschland sollen entweder Glasblöcke hergestellt oder Glas in Form kleiner Kugeln in Metall eingebettet werden. Eine solche Demonstrationsanlage – die „Pilotanlage Mol zur Erzeugung lagerfähiger Abfälle" (PAMELA) – ist unter wesentlicher deutscher Beteiligung bei der Eurochemic in Mol/Belgien gebaut worden. Der Betrieb wurde im Jahr 1985 aufgenommen.

45. Radioaktive Abfälle eines Kernkraftwerkes

Kernkraftwerke mit Leichtwasserreaktoren werden einmal jährlich für den notwendigen Brennelementwechsel abgeschaltet. Dabei werden beim Druckwasserreaktor (DWR) etwa ⅓ und beim Siedewasserreaktor (SWR) etwa ¼ der Brennelemente ausgetauscht; gleichzeitig werden auch Revisionen und falls nötig Reparaturen vorgenommen.

Das Volumen des jährlichen Anfalls von radioaktiven Abfällen durch den Betrieb eines 1300-MWe-Kernkraftwerks beträgt:

	Menge in m^3	spez. Aktivität in Ci/m^3
Verdampfer- und Filterkonzentrat	235	10^{-2}– 1
Filtereinsätze der Abluft- und Abgasreinigung	8	10^{-2}– 1
Putzwolle, Papier, kontaminierte Kleidung	120	10^{-3}–10^{-2}

Je nach Behandlung dieser Rohabfälle durch Eindampfen, Veraschen und Binden mit Zementmischung ergibt sich ein Reduktionsfaktor von bis zu 100.

46. Wiederaufarbeitung

Ein ausgedientes Brennelement hat – wenn man vom Strukturmaterial absieht – folgende Zusammensetzung:

- ca. 95 % Uran
- ca. 4 % Spaltprodukte (Abfall)
- ca. 1 % Plutonium, außerdem Transurane

Ziel der Wiederaufarbeitung ist die Rückgewinnung des wiederverwendbaren Kernbrennstoffs Uran und des entstandenen Kernbrennstoffs Plutonium, der sich beim Einsatz der Brennelemente im Reaktor eines Kernkraftwerkes gebildet hat.

Eine Wiederaufarbeitungsanlage ist eine chemische Fabrik, nicht zu vergleichen mit einem Kernkraftwerk.

Das zurückgewonnene Uran und das Plutonium können nach entsprechender chemischer Bearbeitung wieder als Brennstoff in einem Kernkraftwerk eingesetzt werden. Die in einer

Wiederaufarbeitungsanlage mit einem Jahresdurchsatz von 350 t jährlich zurückgewinnbaren Kernbrennstoffe entsprechen bei Einsatz in den heute üblichen Leichtwasserreaktoren der Energiemenge von ca. 10 Mio t Steinkohle. Durch den Wiederaufarbeitungsprozeß wird der hochaktive Abfall (Spaltprodukte), der nur noch rund 1 % des Volumens aller Abfälle ausmacht, abgetrennt und danach in eine Form gebracht, die eine sichere Endlagerung gewährleistet.

Weltweit liegen seit über 20 Jahren umfangreiche Erfahrungen in der Wiederaufarbeitungstechnologie vor (siehe Tabelle).

Auch die Bundesrepublik hat eigene Erfahrungen sammeln können. Die deutsche Wiederaufarbeitungsanlage in Karlsruhe mit einem Jahresdurchsatz von 35 t U/a arbeitet seit 1971 mit sehr guten Betriebserfahrungen.

Anfang 1985 beschloß die Deutsche Gesellschaft für Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen mbH (DWK), die Wiederaufarbeitungsanlage bei Wackersdorf im Landkreis Schwandorf zu bauen. Am 27. September 1985 wurde die erste Teilerrichtungsgenehmigung erteilt.

Am 11. Dezember hat das von der DWK beauftragte Errichtungskonsortium Wiederaufarbeitungsanlage Wackersdorf (DBE) mit den Rodungsarbeiten im Taxöldener Forst auf der Standortfläche für die Wiederaufarbeitungsanlage Wackersdorf begonnen. Am 4. März 1986 wurden die Arbeiten zur Errichtung des Brennelement-Eingangslagers aufgenommen.

47. Wiederaufarbeitungsanlagen für LWR-Brennelemente (Ende 1986)

Land	Anlage bzw. Standort	Betreiber	Kapazität t U/a	Inbetriebnahme bzw. Betrieb
USA	West Valley	NFS	300	1966–1972
GB	Sellafield	BNFL	400	1972–1974
	Thorp	BNFL	1200	1990
F	UP 2, La Hague	Cogema	400	1976
	UP 2-800, La Hague	Cogema	800	1990
	UP 3-A, La Hague	Cogema	800	1989
D	WAK, Karlsruhe	WAK	35	1971
	Wackersdorf	DWK	350	1995
B	Mol	Eurochemic	80	1966–1974
J	Tokai Mura	PNC	210	1977
	Shimokita	JNFS	800	1995

48. Direkte Endlagerung

Bei der direkten Endlagerung abgebrannter Brennelemente in einer geeigneten Verpackung (Konditionierung) werden sowohl die radioaktiven Spaltprodukte als auch die Wertstoffe Uran und Plutonium zum Abfall erklärt. Dies bedeutet eine Rohstoffvergeudung.

Weltweit gibt es mit dieser Endlagertechnik noch keine Erfahrung. Erste Ansätze gibt es seit 1986 mit dem Antrag der Deutschen Gesellschaft für Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen auf Genehmigung zum Bau und Betrieb einer Pilot-Konditionierungsanlage für radioaktive Reststoffe in Gorleben. Mit diesem Projekt soll die technische Machbarkeit und die atomrechtliche Genehmigungsfähigkeit der Konditionie-

rung radioaktiver Reststoffe einschließlich ausgedienter Brennelemente – die direkte Endlagerung – nachgewiesen werden.

Eine direkte Endlagerung wird also in diesem Jahrzehnt nicht mehr zur Verfügung stehen.

49. Endlagerung radioaktiver Stoffe

In der Bundesrepublik Deutschland wird die Lagerung radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen als die beste Lösung angesehen. Die Bundesregierung verfolgt dabei ein differenziertes Programm zur Endlagerung:

– Seit 1965 werden in dem stillgelegten Salzbergwerk Asse bei Wolfenbüttel Verfahren und Techniken zur sicheren Endlagerung radioaktiver Abfälle entwickelt und erprobt.

– Seit 1979 wird der Salzstock Gorleben von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt auf seine Eignung für die Endlagerung aller Arten fester radioaktiver Abfälle untersucht, also auch für die Endlagerung wärmeentwickelnder Abfälle.

– Seit 1975 laufen die Eignungsuntersuchungen für die Schachtanlage Konrad. Dort ist die Endlagerung solcher Abfälle vorgesehen, die eine vernachlässigbare thermische Einwirkung auf das umgebende Gestein haben.

– Die Entsorgung tritiumhaltiger Wässer aus der Wiederaufarbeitung ist durch Verpressung in tiefe geologische Formationen vorgesehen.

Eine endgültige Eignungsaussage für den Salzstock Gorleben wird erst nach der untertägigen Erkundung – nach gegenwärtigem Planungsstand spätestens 1992 – möglich sein. Die Bewertung aller bisherigen Erkundungsergebnisse bestätigt seine „Eignungshöffigkeit".

Die Erkundungsarbeiten für die Schachtanlage Konrad sind abgeschlossen. Die Bundesregierung geht davon aus, daß 1989 dort mit der Endlagerung radioaktiver Abfälle begonnen werden kann.

50. Stillegung von Kernkraftwerken

Kernkraftwerke können genauso lange betrieben werden wie konventionelle Kraftwerke. Das Ende der Lebensdauer eines Kernkraftwerks ist im allgemeinen dann erreicht, wenn das der Neutronenstrahlung ausgesetzte Druckgefäß infolge der Materialversprödung nicht mehr für den vollen Betriebsdruck zugelassen wird und der Reaktor deshalb mit geringerer Leistung betrieben werden muß. Danach ist es eine Frage der Wirtschaftlichkeit, ob das Kernkraftwerk weiter betrieben oder stillgelegt wird. Sicherheitstechnische Aspekte spielen hierbei keine Rolle.

Voraussetzung für den Beginn der Stillegungsarbeiten ist, daß Kernbrennstoff, Kühlmittel und die aktiven Betriebsabfälle aus der Anlage entfernt sind. Dadurch wird das ursprüngliche Aktivitätsinventar weitgehend auf die in den aktivierten und kontaminierten Komponenten enthaltene Aktivität reduziert. Diese Restaktivität liegt dann nur noch in fester Form vor und beträgt ein Jahr nach Außerbetriebnahme weniger als ein Prozent des Aktivitätsinventars einer in Betrieb befindlichen Anlage.

Je nach Umständen des Einzelfalles ergeben sich drei Stillegungshauptvarianten, wobei sich auch mehrere Kombinationen als Untervarianten ergeben können:

- Gesicherter Einschluß
- Teilbeseitigung mit gesichertem Einschluß
- Totale Beseitigung

Für das Kernkraftwerk Niederaichbach wurde nach dem gesicherten Einschluß das Genehmigungsverfahren für die totale Beseitigung eingeleitet.

51. Daten zur Entwicklung der Kernenergie

Vor Jahrmillionen	Der Naturreaktor in Oklo/Gabun wird kritisch
1896	Antoine Henri Becquerel weist die Radioaktivität des Urans nach.
1898	Marie und Pierre Curie entdecken den Zerfall des Elements Radium in andere Elemente, wobei radioaktive Strahlung abgegeben wird.
1911	Ernest Rutherford entwickelt seine Theorie vom Aufbau des Atoms und vom radioaktiven Zerfall, basierend darauf entwickelt Niels Bohr ein Atommodell
1934	Enrico Fermi versucht vergeblich, Uran und andere Elemente durch Neutronenbeschuß in künstliche „Transurane" umzuwandeln.
1938	Otto Hahn und Fritz Straßmann gelingt der Nachweis der Spaltung des Uranatoms.
1939	Joliot, Halban und Kowarski weisen die bei der Kernspaltung freiwerdenden Neutronen nach, welche eine Kettenreaktion in Gang setzen. Lise Meitner und Siegfried Flügge berechnen die Größenordnung der bei der Kernspaltung freigesetzten Energiemengen.
1941	Unter der Leitung von Werner Heisenberg und W. Bothe erbaut der „Uranverein" einen Versuchsreaktor, in welchem bis zu seiner Zerstörung (1945) keine sich selbst erhaltende Kettenreaktion erzeugt werden konnte.
1942	Enrico Fermi setzt die erste kontrollierte Kettenreaktion in Gang.

1945 Am 16. Juli wird in New Mexico eine unter der Leitung von J. Robert Oppenheimer gebaute Versuchs-Atombombe gezündet.
Am 6. und 9. August werden die ersten im Krieg eingesetzten Atombomben über Hiroshima und Nagasaki abgeworfen. Etwa 240 000 Menschen sterben, 130 000 erleiden Verletzungen und Strahlenschäden.

1951 Am 20. Dezember wird im US-Staat Idaho mit dem Versuchsreaktor EBR 1 zum erstenmal Strom durch Kernenergie erzeugt.

1953 Präsident Eisenhower verkündet ein Programm „Atome für den Frieden".

1955 Nach der erlangten staatlichen Souveränität ist es der Bundesrepublik Deutschland möglich, auf dem Gebiet der friedlichen Kernenergienutzung tätig zu werden. Bonn schafft ein Bundesministerium für Atomfragen.

1956 Der in Calder Hall, Großbritannien, fertiggestellte Reaktor erbringt eine Leistung von 92 MW.

1959 In der Bundesrepublik Deutschland wird das Atomgesetz verkündet. Es ist die Rechtsgrundlage für den Bau und Betrieb von Kernkraftwerken. Gründung des Deutschen Atomforums e. V. – einer Organisation von Unternehmen, Verbänden, Behörden und natürlichen Personen zur Förderung der friedlichen Nutzung der Kernenergie.

1960 Verabschiedung der Strahlenschutzverordnung.

1961 Inbetriebnahme des ersten Kernkraftwerks der Bundesrepublik in Kahl am Main. Das 15-MW-Versuchsatomkraftwerk ist ein Siedewasserreaktor aus der Linie der Leichtwasserreaktoren.

1965	Im Karlsruher Kernforschungszentrum erste Kettenreaktion im deutschen Schwerwasser-Reaktor (MZFR).
1966–1968	Die Demonstrationskraftwerke Gundremmingen, Lingen und Obrigheim, alle mit Leichtwasserreaktoren ausgerüstet, gehen ans Netz.
1966	Erstmalige Kettenreaktion des ersten deutschen Hochtemperaturreaktors (HTR) mit der Bezeichnung AVR in Jülich.
1967	Beginn des Versuchsprogramms zur Einlagerung von schwachaktiven Abfällen im Salzbergwerk Asse.
1969	Gründung der Kerntechnischen Gesellschaft e. V. – einer Organisation zur Förderung des Fortschritts von Wissenschaft und Technik auf dem Gebiet der friedlichen Nutzung der Atomenergie und verwandter Disziplinen.
1971	Der Prototyp einer Anlage zur Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente wird in Karlsruhe in Betrieb genommen.
1972	Die ersten rein kommerziellen Kernkraftwerke Stade und Würgassen beginnen mit Stromlieferungen.
1974	Inbetriebnahme des weltweit ersten 1200-MW-Blocks in Biblis.
1975	Zusammenschluß der 12 kernkraftwerksbetreibenden und -planenden Elektrizitätsversorgungsunternehmen in der Projektgesellschaft Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen mbH (PKW). Einrichtung der Schachtanlage Konrad für die Erforschung und Probelagerung radioaktiver Abfallstoffe.

1976	Nach verschiedenen, vorgeschalteten Versuchsanordnungen und Umbauten geht der erste deutsche Reaktor vom Typ Schneller Brüter im Kernforschungszentrum in Karlsruhe in Betrieb.
1979	Umbenennung der PWK in Deutsche Gesellschaft für Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen mbH (DWK). Die Regierungschefs von Bund und Ländern beschließen die „Grundsätze zur Entsorgungsvorsorge für Kernkraftwerke".
1980	Beginn der ersten Tiefbohrung in Gorleben. Die Enquête-Kommission „Zukünftige Kernenergiepolitik" legt ihren Bericht vor.
1981	Grundsteinlegung für die Anlage zur Verfestigung hochaktiver Abfälle nach dem PAMELA-Verfahren in Mol auf dem Gelände der Eurochemic.
1982	Der Grundstein zur ersten großtechnischen Urananreicherungsanlage der Bundesrepublik Deutschland in Gronau wird gelegt.
1983	Das europäische Fusionsexperiment JET in Culham hat sein erstes Experiment erfolgreich durchgeführt. Im Thorium-Hochtemperatur-Reaktor THTR 300 erfolgt die erste kontrollierte Kernspaltung.
1984	Mit der Unterzeichnung einer Kooperationsvereinbarung auf dem Schnell-Brüter-Gebiet haben Industrieunternehmen und Forschungseinrichtungen aus der Bundesrepublik Deutschland, Großbritannien, Frankreich, Italien und Belgien ihre Brüteraktivitäten zusammengeschlossen.

1985 Die DWK beschließt, die Wiederaufarbeitungsanlage in Wackersdorf im Landkreis Schwandorf zu bauen. Sie erteilt dem Errichtungskonsortium Wiederaufarbeitungsanlage Wackersdorf unter Federführung der Kraftwerk Union den Auftrag zum Bau der Wiederaufarbeitungsanlage. Am 27. September 1985 wird die erste Teilerrichtungsgenehmigung erteilt.

Am 11. Dezember hat das von der DWK beauftragte Errichtungskonsortium Wiederaufarbeitungsanlage Wackersdorf (EWW) mit den Rodungsarbeiten im Taxöldener Forst auf der Standortfläche für die Wiederaufarbeitungsanlage Wackersdorf begonnen.

Die Urananreicherungsanlage Gronau der Urenco Deutschland beginnt mit der Produktion von angereichertem Uran. Die in Betrieb genommene Produktionseinheit hat eine Leistung von ca. 50 Tonnen Urantrennarbeit (UTA) pro Jahr.

Die Schmelzanlage zur Verglasung flüssiger hochaktiver Abfälle bei der Eurochemic-Wiederaufarbeitungsanlage in Mol/Belgien nimmt den „heißen“ Betrieb auf.

Der Thorium-Hochtemperaturreaktor THTR-300 in Hamm-Uentrop nimmt den nuklearen Leistungsbetrieb auf. Am 16. November liefert der THTR erstmals Strom in das öffentliche Netz.

1986 Die DWK stellte einen „Antrag auf Genehmigung zum Bau und Betrieb einer Pilot-Konditionierungsanlage für radioaktive Reststoffe“ in Gorleben. Mit dem Projekt soll die technische Machbarkeit und die atomrechtliche Genehmigungsfähigkeit der Konditionierung radioaktiver Reststoffe einschließlich ausgedienter Brennelemente – die direkte Endlagerung – nachgewiesen werden.

52. Adressen

Bundesministerium des Innern
Graurheindorfer Straße 198, 5300 Bonn 1

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit,
Kennedyallee 1, 5300 Bonn 1

Bundesministerium für Forschung und Technologie
Heinemannstraße 2, 5300 Bonn 2

Deutsche Gesellschaft für Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen mbH (DWK)
Hamburger Allee 4, 3000 Hannover 1

Deutsches Atomforum e. V.
Heussallee 10, 5300 Bonn 1

Gesellschaft für Reaktorsicherheit mbH
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1

Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH (GSF)
Ingolstädter Landstraße 1, 8042 Neuherberg

Informationskreis Kernenergie
Heussallee 10, 5300 Bonn 1

Informationszentrale der Elektrizitätswirtschaft e. V.
Stresemannallee 23, 6000 Frankfurt/Main 70

Kernforschungsanlage Jülich GmbH (KFA)
Postfach 1913, 5170 Jülich

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH (KfK)
Postfach 3640, 7500 Karlsruhe

Kerntechnische Gesellschaft e. V.
Heussallee 10, 5300 Bonn 1

Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke e. V.
Stresemannallee 23, 6000 Frankfurt/Main 70

Wirtschaftsverband Kernbrennstoff-Kreislauf e. V.
Adenauerallee 90, 5300 Bonn 1

Informationszentren

Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar GmbH
Postfach, 7129 Neckarwestheim

PreussenElektra AG
Kernkraftwerk Brokdorf
Dorfstraße/Schule, 2211 Brokdorf

Versuchsatomkraftwerk Kahl GmbH
Postfach 6, 8756 Kahl am Main

RWE Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich
Postfach 125, 5403 Mülheim-Kärlich

Gemeinschaftskernkraftwerk Grohnde GmbH
Hauptstraße 1, 3254 Emmerthal 1

Kernkraftwerk Grafenrheinfeld
Postfach 7, 8722 Grafenrheinfeld

PreussenElektra AG
Betriebsdirektion Stade
Postfach 1769, 2160 Stade

Kernkraftwerk Isar GmbH
Postfach 1106, 8307 Essenbach

Kernkraftwerk Brunsbüttel GmbH
Otto-Hahn-Straße, 2212 Brunsbüttel

Schnell-Brüter-Kernkraftwerksgesellschaft mbH,
Kernkraftwerk Kalkar
Postfach 1220, 4192 Kalkar 1

RWE Kernkraftwerk Biblis
Postfach 1140, 6843 Biblis

KGB – Kernkraftwerke Gundremmingen
Betriebsgesellschaft mbH
Postfach 300, 8871 Gundremmingen

Kernkraftwerk Krümmel GmbH
Elbuferstraeß 82, 2054 Geesthacht-Krümmel

Kernkraftwerk Würgassen
Postfach 1220, 3472 Beverungen

PreussenElektra AG
Kernkraftwerk Unterweser GmbH
2883 Stadland 1 (Rodenkirchen)

Kernkraftwerk Obrigheim GmbH
Postfach 100, 6951 Obrigheim/Neckar

Kernkraftwerk Philippsburg GmbH
Postfach 1140, 7522 Philippsburg

Kernkraftwerk Lingen GmbH
Lindenstraße 13, 4450 Lingen

Kernkraftwerk Westfalen
Siegenbeckstraße 10, 4700 Hamm-Uentrop

PreussenElektra AG
Postfach 45, 3587 Borken

Urenco Informationszentrum
Röntgenstraße 2a, 4432 Gronau

Pfalzwerke AG
Postfach 21 10 46, 6700 Ludwigshafen

Brennelementlager Gorleben GmbH
Hauptstraße 31, 3131 Gorleben

Brennelementzwischenlager Ahaus GmbH
Informationszentrum
Ammeln 59, 4420 Ahaus

DWK-Wiederaufarbeitungsanlage Wackersdorf GmbH
DWW-Informationszentrum
Postfach 62, 8464 Wackersdorf

53. Weiterführende Literatur

L. Rausch, Strahlenrisiko.? Medizin, Kernenergie, Strahlenschutz
1979, Piper-Verlag

P. Penczynski, Energie – Spannungsfeld zwischen Wirtschafts- und Gesellschaftspolitik
1981, Siemens/VWEW-Verlag

F.-K. Pickert, H.-J. Zech, Brennstoffkreislauf
1981, Deutsches Atomforum

E. Münch, Tatsachen über Kernenergie
1983, Verlag W. Girardet/Energiewirtschaft und Technik Verlagsgesellschaft

H. Michaelis, Hrsg., Handbuch der Kernenergie, 2 Bände
1986, Econ Verlag

U. Waas, Kernenergie – Ein Votum für Vernunft
1986, Deutscher Instituts-Verlag

Energiebericht der Bundesregierung
1986, Bundesministerium für Wirtschaft

R. Weber, Webers Taschenlexikon Kernenergie
1986, Olynthus-Verlag

Neuere Erkenntnisse zum Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl
1986, Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) mbH

4. aktualisierte Neuauflage Juni 1987 –
Deutsches Atomforum e. V.
Heussallee 10, 5300 Bonn 1
Ruf (02 28) 5 07–0
Telex 08 869 444 datfd
Telefax (02 28) 5 07–2 19
Btx: * 21701 #
Teletex: 2627–2283605 = (Kennung)
ISBN 3-922 798–20–9

Verfasser: AG Schriften im AK II „Öffentlichkeitsarbeit und Presse“ des Deutschen Atomforums e. V.

Redaktion: Dr. Günter Brück, Doris Meyer

Titel: Walter Prangenberg

Druck: J. P. Bachem, Köln